

**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

# **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL**

## **“Panel alternativo de cemento adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado”**

Tesis que para obtener el Grado de:  
**Maestro en Construcción**

Presenta:

**Ing. Edgard David Saavedra López**

Director:

**Dr. José Antonio Domínguez Lepe**

Chetumal, Quintana Roo, México

Octubre de 2019

Aunque este trabajo hubiere servido para examen de grado y hubiere sido aprobado por el H. Sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.

## Agradecimientos

Gracias a mi esposa y a mi hijo, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que me han concedido, un tiempo robado a la historia familiar. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

Deseo expresar mi agradecimiento al director de esta tesis de maestría, Dr. José Antonio Domínguez Lepe, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias, ideas, por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas. Gracias por la confianza ofrecida.

A mis asesores, Dr. Julio César Cruz Argüello, Dra. Danna Lizeth Trejo Arroyo y Mtra. Maritza Chan Juárez, por sus revisiones y observaciones para enriquecer este trabajo.

Al coordinador de maestría, Mtro. Alberto Yeladaqui Tello, por su asesoría, gestión y apoyo, a mis profesores por compartir sus conocimientos y a mis compañeros de maestría, con quienes se compartió diversos momentos especiales durante esta etapa de estudio.

A todos, muchas gracias.

## Contenido

Contenido .....	i
Lista de tablas .....	iii
Lista de figuras .....	iv
Resumen .....	vi
Abstract .....	vii
Introducción .....	1
Capítulo 1 . Fundamentos .....	4
1.1. Antecedentes .....	4
1.2. Planteamiento del problema.....	6
1.3. Marco Teórico .....	6
1.3.1. Prefabricación .....	6
1.3.2. Paneles en la construcción .....	7
1.3.3. Materiales .....	7
1.3.4. Propiedades de los materiales.....	12
1.4. Estado del arte .....	17
1.5. Justificación.....	19
1.6. Pregunta de investigación .....	19
1.7. Hipótesis .....	19
1.8. Objetivo general .....	19
1.8.1. Objetivos específicos.....	20
1.9. Meta .....	20
Capítulo 2 . Diseño de la Investigación .....	22
2.1. Metodología .....	22
2.1.1. Objetivo específico No. 1 .....	22
2.1.2. Objetivo específico No. 2 .....	25
2.1.3. Objetivo Específico No. 3.....	28
2.1.4. Diagrama de actividades del objetivo general .....	29
2.2. Diseño experimental .....	30

---

Capítulo 3 . Trabajo de laboratorio .....	32
3.1. Diseño y fabricación de panel .....	32
3.1.1. Diseño de panel.....	32
3.1.2. Acopio de materiales .....	34
3.1.3. Caracterización del agregado fino .....	35
3.1.4. Fabricación de moldes para las muestras .....	45
3.1.5. Fabricación de muestras.....	46
3.1.6. Curado de muestras .....	47
Capítulo 4 . Resultados y análisis .....	49
4.1. Propiedades físico mecánicas.....	49
4.1.1. Densidad.....	49
4.1.2. Absorción de agua .....	50
4.1.3. Compresión .....	51
4.1.4. Flexión .....	53
4.1.5. Conductividad térmica .....	55
4.1.6. Convección térmica .....	57
4.1.7. Temperatura, humedad relativa e intensidad de luz .....	58
4.1.8. Resumen de resultados de pruebas físico-mecánicas.....	66
4.1.9. Características físico-mecánicas de paneles comerciales con características similares en el mercado .....	67
4.2. Análisis de costos .....	68
4.2.1. Cotización de costos.....	68
4.2.2. Comparativo de costos .....	74
Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	78
Bibliografía .....	79
Anexos .....	82

---

## Lista de tablas

<i>Tabla 1.1. Países más importantes en la venta de paneles prefabricados ligeros para interior y exterior de las edificaciones. ....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 1.2. Conductividad térmica materiales, Eduardo González Cruz (1997). ....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 3.1. Muestras piloto en diferentes proporciones.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 3.2. Muestras con proporciones óptimas.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3.3. Resultados de análisis granulométrico del agregado fino obtenido.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3.4. Resultados de análisis granulométrico del agregado fino ajustado.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 3.5. Resultados de peso volumétrico seco y suelto del agregado fino.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3.6. Resultados de peso volumétrico seco y compacto del agregado fino. ....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.7. Resultados del % de absorción del agregado fino. ....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 3.8. Resultados del % de humedad del agregado fino. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 3.9. Resultados del % de humedad del agregado fino que pasa la malla No. 16. ....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 4.1. Periodos de exposición de las muestras en cámara climática. ....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 4.2. Resultados de exposición de las muestras a temperatura, humedad relativa e intensidad de luz.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4.3. Resumen de resultados obtenidos de la realización de pruebas de laboratorio. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 4.4. Características físico-mecánicas de paneles que se comercializan en el extranjero con características similares. ....</i>	<i>67</i>

## Lista de figuras

<i>Fig. 1.1. Cemento Portland.....</i>	8
<i>Fig. 1.2. Mortero a base de cemento portland.....</i>	9
<i>Fig. 1.3. Fibras de polipropileno. ....</i>	11
<i>Fig. 1.4. Resina de poliéster.....</i>	11
<i>Fig. 1.5. Transferencia de calor.....</i>	14
<i>Fig. 2.1. Diagrama de flujo de diseño y fabricación de panel. ....</i>	22
<i>Fig. 2.2. Diagrama de flujo para evaluar las propiedades físico-mecánicas.....</i>	25
<i>Fig. 2.3. Diagrama de flujo de análisis de costos. ....</i>	28
<i>Fig. 2.4. Diagrama de flujo para desarrollar un panel alternativo. ....</i>	29
<i>Fig. 2.5. Diagrama de diseño experimental.....</i>	30
<i>Fig. 3.1. Materiales utilizados.....</i>	34
<i>Fig. 3.2. Panel comercial de cemento. ....</i>	34
<i>Fig. 3.3. Mezcla del agregado fino. ....</i>	35
<i>Fig. 3.4. Prueba de granulometría del agregado fino. ....</i>	36
<i>Fig. 3.5. Gráfica de análisis granulométrico del agregado fino obtenido. ....</i>	37
<i>Fig. 3.6. Gráfica de análisis granulométrico del agregado fino ajustado. ....</i>	38
<i>Fig. 3.7. Prueba de peso volumétrico seco y suelto del agregado fino. ....</i>	39
<i>Fig. 3.8. Prueba de peso volumétrico seco y compacto del agregado fino. ....</i>	41
<i>Fig. 3.9. Prueba de porcentaje de absorción del agregado fino. ....</i>	42
<i>Fig. 3.10. Prueba de humedad del agregado fino. ....</i>	43
<i>Fig. 3.11. Fabricación de moldes para las muestras. ....</i>	46
<i>Fig. 3.12. Fabricación de muestras. ....</i>	46
<i>Fig. 3.13. Muestras de panel comercial de cemento. ....</i>	47
<i>Fig. 3.14. Curado de muestras.....</i>	47
<i>Fig. 4.1. Prueba de densidad de las muestras. ....</i>	49
<i>Fig. 4.2. Gráfica de peso de las muestras de 20x20 cm (ver anexo A.1-5).....</i>	50
<i>Fig. 4.3. Gráfica de densidad de las muestras (ver anexo A.1-5).....</i>	50
<i>Fig. 4.4. Prueba de absorción de agua de las muestras. ....</i>	51
<i>Fig. 4.5. Gráfica de porcentaje de absorción de las muestras (ver anexo B.1-5).....</i>	51

<i>Fig. 4.6. Prueba de compresión de las muestras.</i> .....	52
<i>Fig. 4.7. Gráfica de compresión de las muestras (ver anexo C.1-5).</i> .....	52
<i>Fig. 4.8. Prueba de flexión de las muestras.</i> .....	53
<i>Fig. 4.9. Gráfica de flexión de las muestras (ver anexo D.1-5).</i> .....	54
<i>Fig. 4.10. Gráfica de deformación de las muestras (ver anexo D.1-5).</i> .....	54
<i>Fig. 4.11. Prueba de la placa caliente de las muestras.</i> .....	55
<i>Fig. 4.12. Gráfica de conductividad térmica de las muestras (ver anexo E).</i> .....	56
<i>Fig. 4.13. Efecto chimenea.</i> .....	56
<i>Fig. 4.14. Prueba de la caja caliente de las muestras.</i> .....	57
<i>Fig. 4.15. Gráfica de convección térmica de las muestras (ver anexo F).</i> .....	58
<i>Fig. 4.16. Cámara climática (prueba de temperatura, humedad relativa, intensidad de luz de las muestras).</i> .....	58
<i>Fig. 4.17. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 30-0.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 30-0.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 30-0.5%.</i> .....	61
<i>Fig. 4.18. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 30-1.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 30-1.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 30-1.5%.</i> .....	62
<i>Fig. 4.19. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 40-0.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 40-0.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 40-0.5%.</i> .....	63
<i>Fig. 4.20. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 40-1.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 40-1.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 40-1.5%.</i> .....	64
<i>Fig. 4.21. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel comercial de cemento, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel comercial de cemento y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel comercial de cemento.</i> .....	65
<i>Fig. 4.22. Gráfica de costo de los paneles por m<sup>2</sup> (ver anexo G).</i> .....	74

## Resumen

En México se fabrican paneles ligeros para división de espacios, suspensión y fachadas en edificaciones a base de materiales como el yeso y cemento. Cuando están expuestos a la intemperie hay que aplicarles un acabado final para evitar un deterioro en corto tiempo, lo que provoca grandes gastos en mantenimiento. En la actualidad, en Europa se fabrican paneles ligeros con un recubrimiento integrado, siendo limitado su uso en nuestro país debido al alto costo por importación y los contratiempos de logística hasta las obras.

En este trabajo se expone el desarrollo y evaluación de un panel ligero compuesto de la mezcla de un mortero de cemento hidráulico como conglomerante para conformar la pasta con el agregado fino, adicionando fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado para actuar como refuerzos. Teniendo como resultado una innovación al estado de la técnica, ya que se espera que el panel propuesto sea resistente a la intemperie, ligero y flexible; más económico y de bajo mantenimiento para la industria de la construcción.

Se muestran los procesos de acopio de materiales, caracterización de agregado fino, optimización de los proporcionamientos, fabricación del panel, pruebas físico-mecánicas y sus resultados incluyendo los costos, se contrastan contra paneles ligeros con características similares en el mercado. Las experiencias y resultados obtenidos denotan un impacto positivo en los ámbitos técnico y económico.

## **Abstract**

In Mexico, lightweight panels are manufactured for division of spaces, suspension and facades in buildings, based on materials such as plaster and cement. When these exposed to the weather, a final finish must be applied to avoid deterioration in a short period time, which causes high maintenance costs. Currently, lightweight panels with an integrated coating are manufactured in Europe, however their use being limited in our country due to the high cost for importation and the logistical setbacks to the works.

This work shows the development and evaluation of a lightweight panel composed of a mixture of hydraulic cement mortar as a binder to form the paste with the fine aggregate is presented, adding polypropylene fibers and unsaturated polyester resin to act as reinforcements. Resulting in an innovation to the state of the art, since the proposed panel is expected to be resistant to weather, light and flexible; more economical and low maintenance for the construction industry.

Processes are shown, including collection of materials, fine aggregate characterization, optimization of the proportions, manufacture of the panel, physical-mechanical tests and their results including costs, are contrasted against lightweight panels with similar characteristics in the market. Experiences and results obtained shows a positive impact in the technical and economic scope.

## Introducción

Los paneles son elementos prefabricados limitados por molduras o fajas hechos a base de materiales como el cemento, acero, yeso, madera, aluminio y polímeros, usados para la división de espacios, suspensión, fachadas y cubiertas en edificaciones. Se clasifican según su peso; en ligeros cuando es inferior a 30 kg, destinados a ser colocados en forma manual por uno o dos operarios; semipesados cuando es inferior a 500 kg, destinados a ser colocados por medios mecánicos simples usando poleas, palancas, malacates y barretas; y pesados cuando es superior a 500 kg destinados a ser colocados con maquinaria pesada como por ejemplo el uso de grúas. El panel a evaluar está clasificado como ligero en donde la relación entre superficie y grosor es significativa.

En el país de México, se fabrican paneles ligeros de yeso, así como, cemento aligerado, usando los paneles para división de espacios, suspensión y fachadas en edificaciones, cabe mencionar, que siempre hay que aplicarles un acabado final a los paneles cuando están expuestos a la intemperie, lo cual no es aconsejable utilizar por su deterioro en corto tiempo y gastos en mantenimiento.

El objetivo de esta investigación es desarrollar un panel alternativo, económico, ligero, flexible y resistente a la intemperie, cumpliendo con características físico-mecánicas de acuerdo a normatividad internacional.

El panel alternativo a desarrollar en esta investigación, resulta de la mezcla de un mortero de cemento hidráulico con la adición de fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado, innovando un elemento compuesto que será resistente a la intemperie, ligero y flexible, más económico y de bajo mantenimiento en la industria de la construcción en México. Aportando a que este tipo de panel esté al alcance de más usuarios por su competitividad en costo y características físico-mecánicas.

En esta investigación se describe un plan de estrategias para lograr los objetivos de la tesis, en base a diseñar y fabricar, evaluar las propiedades físico-mecánicas y el

análisis de costos del panel. El diseño sirve para recolectar la información que se necesita para probar la hipótesis. En este caso el diseño de investigación es experimental, realizando pruebas de laboratorio de densidad, absorción de agua, compresión, flexión, conductividad térmica, convección térmica, temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, en base a la normativa ASTM. Se analizan los resultados obtenidos en el laboratorio mediante tablas y gráficas, se obtienen costos de paneles fabricados, así como, comerciales y se realiza comparativo.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones de esta investigación, de acuerdo a los objetivos mencionados anteriormente, con la intención de que el panel en estudio sea una alternativa técnicamente igual o mejor que otros paneles, pero más económico en la industria de la construcción en el país de México.

# **Capítulo 1**

## **Fundamentos**

## Capítulo 1 . Fundamentos

### 1.1. Antecedentes

En el país de México, en el año de 1986 se fabrican paneles de yeso, así como, cemento aligerado incorporándolo en el año del 2008, usando los paneles para división de espacios, suspensión y fachadas en edificaciones, cabe mencionar, que siempre hay que aplicarles un acabado final a los paneles cuando están expuestos a la intemperie, lo cual no es aconsejable utilizar por su deterioro en corto tiempo y gastos en mantenimiento.

En la actualidad las empresas más importantes que fabrican paneles ligeros con un recubrimiento integrado utilizados para división de espacios y fachadas en edificaciones se encuentran en Europa, los materiales que constituyen a los paneles en su núcleo son la madera, polímeros, aluminio, cerámica y cemento (*ver tabla 1.1*).

*Tabla 1.1. Países más importantes en la venta de paneles prefabricados ligeros para interior y exterior de las edificaciones.*

<b>País</b>	<b>Material</b>
España	Madera
Holanda	Polímeros
Alemania	Aluminio
España	Cerámica
Dinamarca	Cemento

El panel a evaluar es un material compuesto por cemento hidráulico, fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado. Los materiales compuestos son aquellos que se conforman por dos o más materiales y por medio de diferentes procesos se convierten en uno, siendo sus propiedades finales diferentes a los materiales originales.

Analizando los materiales que conforman el panel, el fibrocemento es un material que se asemeja a los materiales a utilizar en su conjunto, definiéndose como la

mezcla de cemento hidráulico y fibras discretas discontinuas. El uso de fibras se ha usado a lo largo de la historia para fortalecer materiales que son mucho más débiles en tensión que en la compresión. La historia del fibrocemento comienza en Austria en el año 1900, cuando Ludwig Hatschek; un ingeniero austríaco inventó este novedoso material. Para la fabricación del fibrocemento, originalmente se utilizaba el amianto como fibra de refuerzo, pero cuando se comenzaron a hacer públicos los problemas de asbestosis que éste provocaba, se fue abandonando paulatinamente su uso en los distintos países. Ya por la década de 1960, se ha sustituido el asbesto por otros tipos de fibras como las fibras de polipropileno, estas son producidas por estiramiento de polímeros sintéticos ya sean en monofilamentos de sección circular o en finas láminas planas. Se encuentran individualmente por lo que actúan como refuerzo dentro de la masa, aumentando la resistencia al impacto, reduciendo los agrietamientos por contracción plástica en estado fresco, y los agrietamientos por temperatura en estado endurecido. Las fibras de polipropileno son incoloras, de entretejido pequeño, se caracterizan por ser muy estables y livianas, su baja densidad hace que éste tipo de fibras queden embebidas de tal forma que no afloran a la superficie, presentan una superficie impermeable por lo que no quita agua de mezclado, además de que tienen un bajo costo con respecto a otras fibras (A. Bentur y S. Mindess, 2006).

En tanto, la resina de poliéster insaturado es líquida a temperatura ambiente y puede ser llevada a estado sólido por la adición de un catalizador. Las resinas se presentan en forma de plásticos termoestables que son los que se emplean en los materiales compuestos. Los plásticos termoestables son aquellos que necesitan un agente externo (catalizador) para cambiar su estructura en otra diferente; una vez producida, esta no puede volver a su estado anterior, a diferencia de los plásticos termoplásticos. La resina de poliéster insaturado puede combinarse con cualquier tipo de refuerzo y con la mayoría de los núcleos de los materiales compuestos, presentando excelentes propiedades de resistencia a agentes químicamente agresivos, resistencia mecánica y resistencia eléctrica, así como, una magnífica relación calidad precio (M. Paul y P. Ravikumar, 2016).

## **1.2. Planteamiento del problema**

Actualmente en el campo de la construcción, los paneles ligeros que se fabrican en el país de México utilizados para división de espacios y fachadas en edificaciones, presentan un deterioro a corto plazo y grandes gastos en mantenimiento al estar expuestos a la intemperie aunque se les aplique uno o más recubrimientos adicionales. Los paneles ligeros que tienen un recubrimiento integrado son utilizados con mayor frecuencia en todo tipo de edificaciones modernas a nivel mundial, sin embargo, el alto costo por importación al país de México es una limitante en su uso y los contratiempos de entrega en las obras.

## **1.3. Marco Teórico**

### **1.3.1. Prefabricación**

La prefabricación es un sistema de construcción basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se llevan a su posición definitiva para montar la edificación tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa. Tal es así que, cuando un edificio es prefabricado, las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, y no de elaboración. Una buena referencia para conocer el grado de prefabricación de un edificio es la de valorar la cantidad de residuos generados en la obra; cuanta mayor cantidad de escombros y suciedad, menos índice de prefabricación presenta el inmueble.

El término prefabricación sigue teniendo una connotación despectiva, lo cual ya adelantaba el diseñador y arquitecto autodidacta Jean Prouvé, cuando decía que lo que se califica como prefabricado acaba asimilándose a edificio provisional. No obstante, la prefabricación conlleva, en la mayoría de los casos, un aumento de calidad, reducción de desechos, perfeccionamiento y seguridad.

### **1.3.2. Paneles en la construcción**

Los paneles son elementos prefabricados generalmente cuadrados o rectangulares limitados por molduras o fajas, hechos a base de diversos materiales que se usan en construcción para dividir o separar espacios en las edificaciones.

Los materiales utilizados para la elaboración de los paneles prefabricados son el cemento, acero, yeso, cerámica, madera, aluminio y polímeros.

Se clasifican según su peso; en ligeros cuando es inferior a 30 kg, destinados a ser colocados en forma manual por uno o dos operarios; semipesados cuando es inferior a 500 kg, destinados a ser colocados por medios mecánicos simples usando poleas, palancas, malacates y barretas; y pesados cuando es superior a 500 kg destinados a ser colocados con maquinaria pesada como por ejemplo el uso de grúas.

En los últimos años a nivel mundial, dentro del campo de las construcciones, viene creciendo la demanda de los paneles prefabricados ligeros entre las cuales destaca su practicidad para la edificación de casas, divisiones y ampliaciones, edificios, entre otros. El desarrollo constante en la construcción ha tenido lugar, a nuevos materiales que han permitido a los constructores ampliar los límites de lo realizable en una medida que habría sido inimaginable antes. Sin embargo, el desarrollo está avanzando continuamente y las visiones creativas exigen materiales de construcción, originales, funcionales e innovadores más que nunca, ya que los edificios del futuro no solo deberán cumplir con las más altas exigencias estructurales, sino que también tendrán que cumplir con los requisitos técnicos y ecológicos del futuro.

### **1.3.3. Materiales**

#### **1.3.3.1. Materiales Compuestos**

Material compuesto es aquél constituido por dos, o más, componentes cuyas propiedades son superiores a las que tienen cada uno por separado, permaneciendo todos perfectamente identificables en la masa del elemento.

### **1.3.3.2. Cemento Portland**

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua. El producto resultante de la molienda de estas rocas es llamada clinker y se convierte en cemento cuando se le agrega una pequeña cantidad de yeso para evitar la contracción de la mezcla al fraguar cuando se le añade agua y al endurecerse posteriormente (*ver fig. 1.1.*). Mezclado con agregados pétreos (grava y arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada hormigón (en España, parte de Suramérica y el Caribe hispano) o concreto (en México, Centroamérica y parte de Sudamérica). Su uso está muy generalizado en la construcción y la ingeniería civil.



*Fig. 1.1. Cemento Portland.*

### **1.3.3.3. Mortero a base de cemento portland**

El mortero de cemento es un material de construcción obtenido al mezclar arena y agua con cemento, que actúa como conglomerante, que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc.

Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes. Los conglomerantes más comunes en la actualidad son los de cemento aunque históricamente han sido, la cal, la tierra y el yeso los más utilizados.

Generalmente, se utilizan para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc.

El mortero de cemento se desarrolló a mediados del siglo XIX.

Los morteros pobres o ásperos son aquellos que tienen poca cantidad de cemento y, por consiguiente, poseen menos adherencia y resultan más difíciles de trabajar. Por otro lado, los morteros que tienen gran cantidad de cemento se retraen y muestran fisuras, además de tener mayor coste. Estos factores hacen necesario buscar una dosificación adecuada.

La falta de trabajabilidad de los morteros puede corregirse añadiendo aditivos plastificantes. También pueden mejorarse con la adición de otro tipo de conglomerantes, como la cal, o modificando la dosificación del mortero (*ver fig. 1.2*).

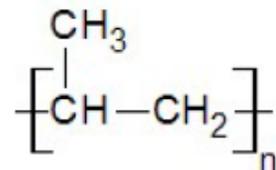


*Fig. 1.2. Mortero a base de cemento portland.*

#### 1.3.3.4. Fibras de polipropileno

El Polipropileno, es un polímero termoplástico utilizado en una amplia variedad de aplicaciones incluyendo el embalaje, industria textil (por ejemplo, cuerdas, ropa interior térmica y alfombras), artículos de papelería, partes de plástico y envases reutilizables de varios tipos, equipos de laboratorio, los altavoces, componentes de automoción, la más recientemente en la industria de la construcción. Además de un polímero a partir de la monómero propileno, es resistente y extraordinariamente resistente a muchos solventes químicos, bases y ácidos. Es un producto inerte, totalmente reciclable, su incineración no tiene ningún efecto contaminante, y su tecnología de producción es la de menor impacto ambiental. Esta es una característica atractiva frente a materiales alternativos.

##### *Composición química*



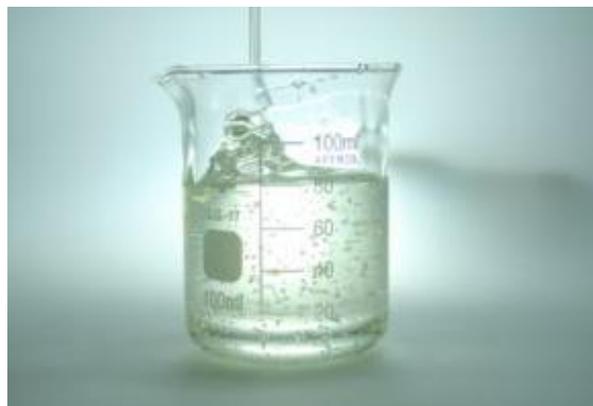
La fibra de polipropileno es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de polipropileno ensambladas en una matriz plástica. El polipropileno se utiliza como material de refuerzo debido a que esta fibra sintética cuenta con algunas características que lo hacen el complemento ideal para obtener grandes ventajas, tales como: excelente relación costo / beneficio, actúa como refuerzo secundario de forma tridimensional, es de fácil aplicación, por lo que no necesita de mano de obra especializada, es inoxidable y resistente a los álcalis, sumamente versátil y compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento utilizadas en distintas aplicaciones, y crea una barrera al vapor de agua, por lo que evita el traspaso de humedad (ver fig. 1.3).



*Fig. 1.3. Fibras de polipropileno.*

### **1.3.3.5. Resina de poliéster**

Las resinas de poliéster son las más usadas, su obtención industrial da lugar a un compuesto sólido, que hay que disolver para obtener la fluidez suficiente a fin de que la impregnación de las fibras sea posible, por lo que se suministra disuelta en estireno, que va a participar en la reticulación. Suele venir mezclada con un acelerador que ayuda al catalizador a descomponerse y pueda comenzar así la reacción química de reticulación (*ver fig. 1.4*). Hay muchos tipos de resinas de poliéster comercializadas para muy diferentes clases de aplicaciones, pudiéndose conseguir con distintas calificaciones de resistencia al fuego, con una alta resistencia a los rayos U.V. y a la humedad, con mayor resistencia química, con una resistencia más alta al impacto, con resistencia a altas temperaturas, etc. El uso de distintas clases de catalizadores y aceleradores aumenta las posibilidades de aplicaciones de estas resinas.



*Fig. 1.4. Resina de poliéster.*

Los materiales compuestos realizados con las resinas de poliéster responden a las siguientes propiedades:

- Baja viscosidad, buena trabajabilidad.
- Tiempo de curado rápido.
- Muy alta contracción durante el curado.
- Gran rango de aplicaciones debido a los diferentes tipos de resinas de poliéster que pueden conseguirse.
- Posibilidades de curado tanto a temperatura ambiente como a altas temperaturas.
- Buena resistencia eléctrica.
- Magnífica relación calidad/precio.
- Buenas propiedades del composite, aunque inferiores a los conseguidos con algunas otras resinas.

#### **1.3.4. Propiedades de los materiales**

##### **1.3.4.1. Densidad**

La densidad la podemos definir como la propiedad que tiene la materia, ya sean sólidos, líquidos o gases, para comprimirse en un espacio determinado, la cantidad de masa por unidad de volumen.

##### **1.3.4.2. Porcentaje de absorción de agua**

El porcentaje de absorción de agua permite asegurar, en cierta forma, que el material provee protección contra los efectos de la lluvia y puede ser utilizado como una medida de caracterización de la acción capilar de los materiales de construcción.

#### **1.3.4.3. Esfuerzo a compresión**

El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección (coeficiente de Poisson).

#### **1.3.4.4. Esfuerzo a flexión**

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por tracción. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

#### **1.3.4.5. Transferencia de calor**

Los conductores y aislantes son respectivamente los materiales que permiten o impiden la transferencia de calor entre cuerpos. Veamos ahora más a fondo las tasas de transferencia de energía. En la cocina, usamos una olla de metal o vidrio para tener buena transferencia de calor de la estufa a lo que cocinamos, pero el refrigerador está aislado con un material que evita que fluya calor hacia la comida que está en el interior. ¿Cómo describimos la diferencia entre estos dos materiales?

Los tres mecanismos de transferencia de calor son conducción, convección y radiación. Hay conducción dentro de un cuerpo o entre dos cuerpos que están en contacto. La convección depende del movimiento de una masa de una región del espacio a otra. La radiación es transferencia de calor por radiación electromagnética, como la luz del sol, sin que tenga que haber materia en el espacio entre los cuerpos (*ver fig. 1.5*).

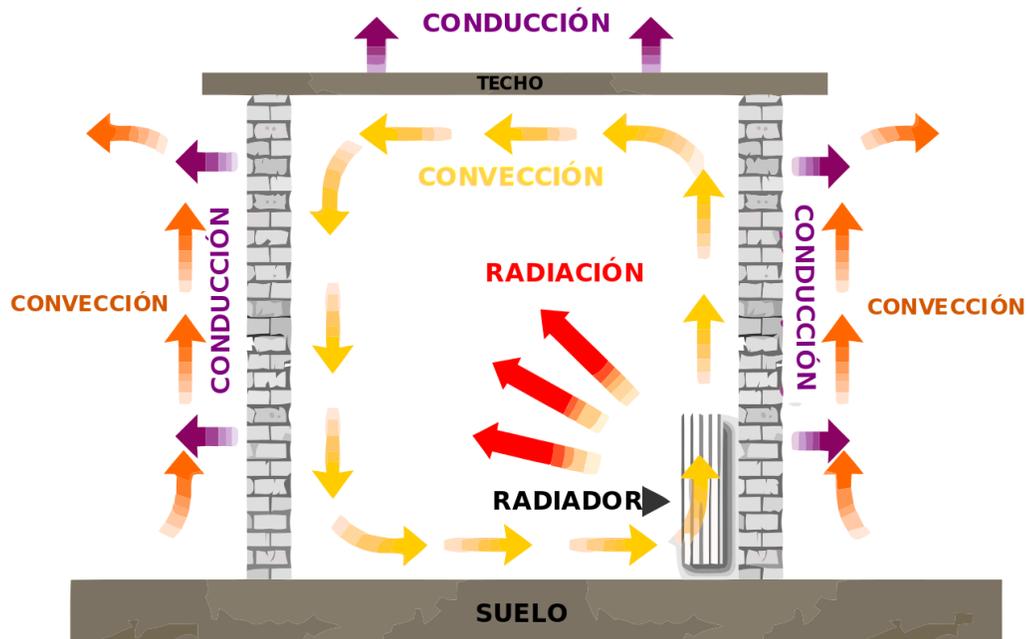


Fig. 1.5. Transferencia de calor.

### Conducción

La conductividad térmica es una propiedad de transporte, consiste en la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura sin que se produzca transferencia de materia entre ellos (ver tabla 1.2).

Tabla 1.2. Conductividad térmica materiales, Eduardo González Cruz (1997).

Material	W/mk
Poliuretano	0.026
Aire	0.026
Poliestireno	0.035
Espuma fenólica	0.038
Lana de vidrio	0.041
Corcho comprimido	0.085
Mortero de cemento	0.090
Madera de construcción	0.130

Madera de pino	0.148
Concreto celular	0.220
Tierra de paja	0.300
Yeso	0.488
Mortero cemento/arena	0.530
Agua	0.582
Ladrillos de arcilla	0.814
Acero	0.500
Aluminio	0.160
Cobre	0.399

### ***Convección***

En este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas. La transmisión de calor por convección puede ser:

Forzada: a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría.

Natural: el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

### ***Radiación***

Tanto la conducción como la convección necesitan de un medio material para el transporte del calor. Hay otro mecanismo que no necesita ningún medio y se llama radiación. La radiación se produce por la transferencia de ondas electromagnéticas y se llama energía radiante.

#### **1.3.4.6. Intemperie**

La idea de intemperie suele usarse para aludir al entorno o ambiente que se encuentra sometido a las variaciones del tiempo. Aquello que está a la intemperie, por lo tanto, carece de reparo o de techo, quedando a merced de las inclemencias meteorológicas.

#### ***Temperatura***

La Temperatura es una magnitud que mide el nivel térmico o el calor que un cuerpo posee. Toda sustancia en determinado estado de agregación (sólido, líquido o gas), está constituida por moléculas que se encuentran en continuo movimiento. La suma de las energías de todas las moléculas del cuerpo se conoce como energía térmica; y la temperatura es la medida de esa energía promedio.

#### ***Humedad relativa***

La cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el necesario para saturar el aire. Una lectura del 100% de humedad relativa significa que el aire está totalmente saturado con vapor de agua y no puede contener más, creando la posibilidad de lluvia. Esto no significa que la humedad relativa debe ser del 100% para que llueva; debe ser del 100% donde se forman las nubes, pero la humedad relativa cerca del suelo podría ser mucho menor.

#### ***Intensidad luminosa***

El fenómeno de la luz desde el punto de vista de su medición se estudia en la disciplina conocida como fotometría. En este marco de referencia, la intensidad

luminosa indica la cantidad de luz que es percibida (el término científico empleado es el de flujo luminoso).

Desde un parámetro matemático, la intensidad luminosa es algo que se puede medir, para lo cual se emplea la unidad conocida como candela. En este sentido, hay que recordar que la luz tiene unidades de medición diversas (lumen, lux, lumen por vatio y otras) y cada una de ellas sirve para medir algún aspecto de la luz. No hay que olvidar que la luz es una forma de energía, concretamente de energía electromagnética.

#### **1.4. Estado del arte**

El estado del arte se compone de estudios desde el 2009 hasta el 2018. La temática es sobre materiales compuestos a los que se les somete a pruebas físico-mecánicas para su caracterización. Cuando se trata de trabajos de fabricación de nuevos compuestos se tiene en cuenta el proceso de fabricación y posteriormente la evaluación de su comportamiento físico-mecánico, información que puede servir de soporte o de antesala de un planteamiento de análisis para el panel.

Los materiales compuestos a base de cemento consisten en una pasta de cemento, que está formada por la hidratación entre el cemento y el agua, y una mezcla de diversos materiales inorgánicos, metálicos y poliméricos. Su estudio con otros materiales se ha realizado durante muchos años hasta el día de hoy en el sector de la construcción, considerando las propiedades y el comportamiento de dichos materiales basados en cemento, enfatizando el refuerzo no convencional y nuevos métodos de diseño, los problemas en las interfaces de los materiales y la durabilidad de las estructuras (K. Wu y D. Zhang, 2018).

Se revisan los diversos componentes de la mezcla de un mortero a base de polímeros y su efecto sobre las propiedades, en virtud de su alta resistencia, excelente durabilidad y fácil procesamiento. El contenido de aglutinante en el mortero

de polímero varía de 10 a 20% en peso de la mezcla (M. Miriam y P. Ravikumar, 2016), siendo menor el porcentaje de resina a medida que aumenta el tamaño máximo del agregado (C. Galán, 2001).

Las fibras de polipropileno se usan comúnmente para restringir la contracción temprana y controlar la propagación de micro-grietas en los morteros. Sin embargo, el aumento de la porosidad junto con la reducción de las propiedades mecánicas debido a la adición de fibra de polipropileno es una preocupación (S. Gupta, W. Kua y S. Pang, 2017), se realizó un estudio experimental sobre el mortero de cemento reforzado por los diferentes porcentajes de fibra de polipropileno (0, 0.5, 1 y 1.5%). El objetivo fundamental de este artículo es estudiar las propiedades mecánicas del mortero de cemento que contiene diferentes porcentajes de fibra de polipropileno, realizado diferentes pruebas para determinar algunos aspectos a saber, la prueba de tabla de flujo y resistencia a la compresión a la edad de curado 28 días. Los resultados muestran que el uso de fibra de polipropileno proporciona una mejora inequívoca en estas propiedades y por lo tanto, se han tenido en cuenta los porcentajes óptimos para esta fibra. Los resultados muestran un aumento significativo en resistencia a la compresión con el incremento del contenido de fibras en el mortero de cemento (S. Alsadey, 2016).

Con respecto al panel, resalta el artículo de "Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik)", donde se fabrica y evalúa un panel a partir del reciclaje de envases multicapa como una alternativa al panel de yeso con el que se construyen muros y plafones falsos en la industria de la construcción. El panel es de 20 x 20 x 1 cm debido a las limitaciones del equipo disponible, sin embargo se pudieron realizar aplicaciones a escala 1:3 en sustitución de paneles de yeso. Durante la fabricación de las aplicaciones se observaron las características cualitativas y cuantitativas del material como son resistencia al impacto, mecanizado y flexión (J. A. Domínguez y D. Güemes, 2010).

De lo expuesto, surge la idea de desarrollar y evaluar a un panel alternativo que sea a base de cemento adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado, debido a las características físico mecánicas que aporta cada uno de los materiales que lo conforman.

### **1.5. Justificación**

La presente investigación se enfoca en desarrollar y evaluar a un panel de cemento adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado, innovando un elemento compuesto que será resistente a la intemperie, ligero y flexible, más económico y de bajo mantenimiento en la industria de la construcción en México. Por lo tanto, esta investigación aporta a que este tipo de panel esté al alcance de más usuarios.

### **1.6. Pregunta de investigación**

¿Qué ventajas y características físico-mecánicas tendrá desarrollar un panel con recubrimiento integrado a base de cemento adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster?

### **1.7. Hipótesis**

El panel a base de cemento adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado, será económico, ligero, flexible y resistente a la intemperie, cumpliendo con las características físico-mecánicas de acuerdo a normatividad internacional.

### **1.8. Objetivo general**

Desarrollar un panel alternativo, económico, ligero, flexible y resistente a la intemperie, cumpliendo con características físico-mecánicas de acuerdo a normatividad internacional.

### **1.8.1. Objetivos específicos**

- Diseñar y fabricar panel a partir de las proporciones cemento –agregado fino - agua, fibra de polipropileno y resina de poliéster insaturado.
- Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las muestras consistentes en densidad, absorción de agua, compresión, flexión, conducción y convección térmica, temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, mediante normas ASTM.
- Análisis de costos del panel contra paneles ligeros con características similares en el mercado.

### **1.9. Meta**

Obtener un panel prefabricado a base de un material compuesto que sea una alternativa innovadora, debido a sus características físicas, mecánicas, de intemperie y costo para su uso en la industria de la construcción en México.

# **Capítulo 2**

## **Diseño de la Investigación**

## Capítulo 2 . Diseño de la Investigación

### 2.1. Metodología

En base a la revisión de literatura se busca información bibliográfica de cada uno de los objetivos específicos.

A continuación se describen las actividades de los objetivos específicos:

#### 2.1.1. Objetivo específico No. 1

Diseñar y fabricar panel a partir de las proporciones cemento –agregado fino - agua, fibra de polipropileno y resina de poliéster insaturado (*ver fig. 2.1*).

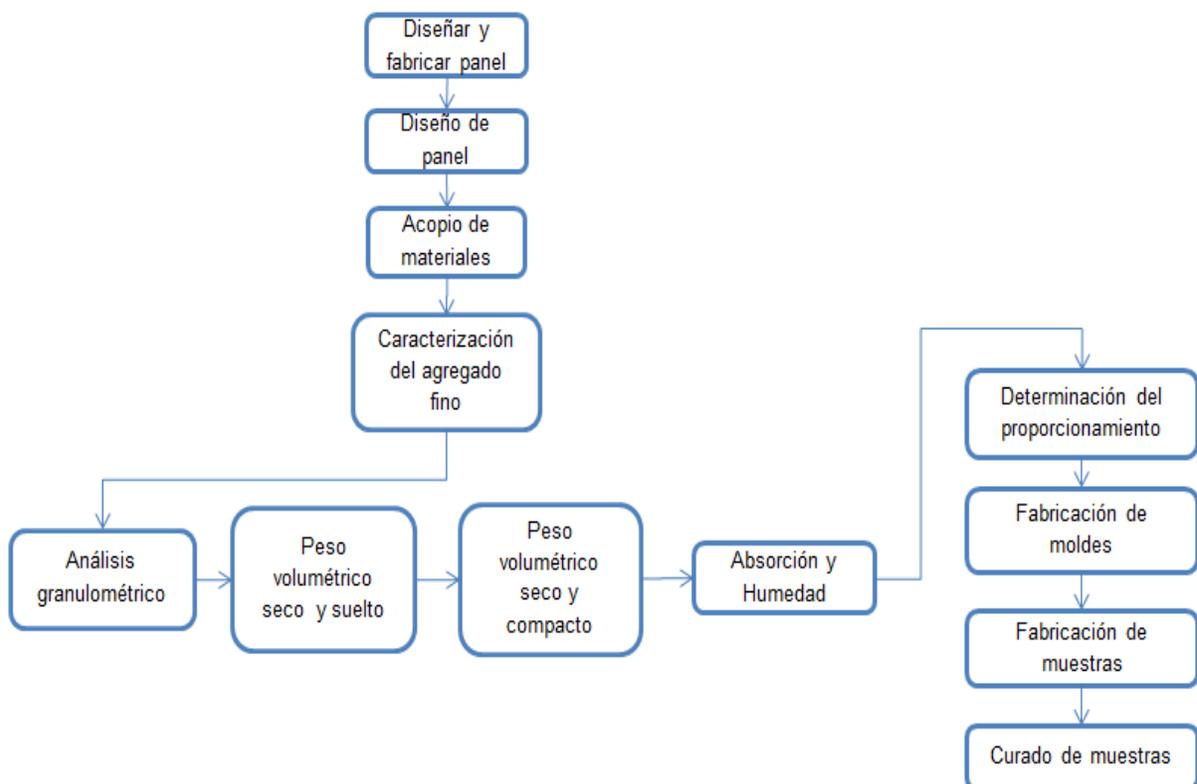


Fig. 2.1. Diagrama de flujo de diseño y fabricación de panel.

#### **2.1.1.1. Diseño de panel**

El panel de cemento propuesto es un elemento prefabricado que se limita por molduras o fajas hecho a base de materiales como el cemento, agregado fino, fibra de polipropileno y resina de poliéster insaturado, el cual se puede usar en la edificación para división de espacios, suspensión y fachadas; en base a la revisión de la literatura se tiene definido el proporcionamiento a utilizar (cemento –agregado fino - agua 1:1:1/2, fibra de polipropileno 0.5 - 1.5% y resina de poliéster insaturado 10 - 20%); los paneles se pueden fabricar en diferentes dimensiones de acuerdo al uso que se le dé, en base al espesor se opta por 0.635 cm (1/4 in), esto es con el propósito de innovar un elemento compuesto que sea resistente a la intemperie, ligero y flexible, más económico y de bajo mantenimiento en la industria de la construcción en México.

#### **2.1.1.2. Acopio de materiales**

Se adquiere el cemento, agregado fino, fibras de poliestireno y resina de poliéster insaturado, y panel comercial de cemento mediante recursos propios.

#### **2.1.1.3. Caracterización del agregado fino**

Para la caracterización del agregado fino como componente del panel se toma de base la Norma ASTM C33, realizando las siguientes pruebas: granulometría de los agregados finos, peso volumétrico seco y suelto, peso volumétrico seco y compacto, absorción y humedad.

#### **2.1.1.4. Determinación del proporcionamiento de los materiales para las muestras**

En base a la revisión de la literatura ya se tiene definido que proporcionamiento utilizar (cemento –agregado fino - agua 1:1:1/2, fibra de polipropileno 0.5 - 1.5% y

resina de poliéster insaturado 10 - 20%), así como también, se elaboran pruebas piloto para verificar si lo descrito en las publicaciones es acorde a los resultados que se desean obtener ya que el elemento de estudio es innovador.

#### **2.1.1.5. Fabricación de moldes para las muestras**

Se realizan moldes para el diseño experimental a base de soleras de acero con una sección de 1 1/4" x 1/4" con una base de cristal de 6 mm de espesor y una hoja de acetato, las medidas para la prueba de flexión de 60 cm de longitud por 15 cm de ancho y un 0.635 cm de espesor, y para las otras pruebas con moldes de 20 cm de longitud por 20 cm de ancho y un 0.635 cm de espesor.

#### **2.1.1.6. Fabricación de muestras**

El proceso de fabricación de muestras es el siguiente:

- Mezclado. Se realizó previo a la mezcla de los materiales el pesaje de cada uno de ellos y después se mezcló obteniendo una mezcla uniforme.
- Preparación del molde. La preparación del molde consistió en el engrasado de las paredes del molde para que al contacto con la mezcla posterior a su fraguado pudiera desprenderse con facilidad y eficiencia del proceso de producción.
- Vertido de la mezcla. Se procedió a verter la mezcla en el molde y dejar secar a temperatura ambiente por un lapso de 4 horas hasta obtener rigidez.
- Desmolde. Ya habiéndose obtenido la muestra se procedió a descimbrar.

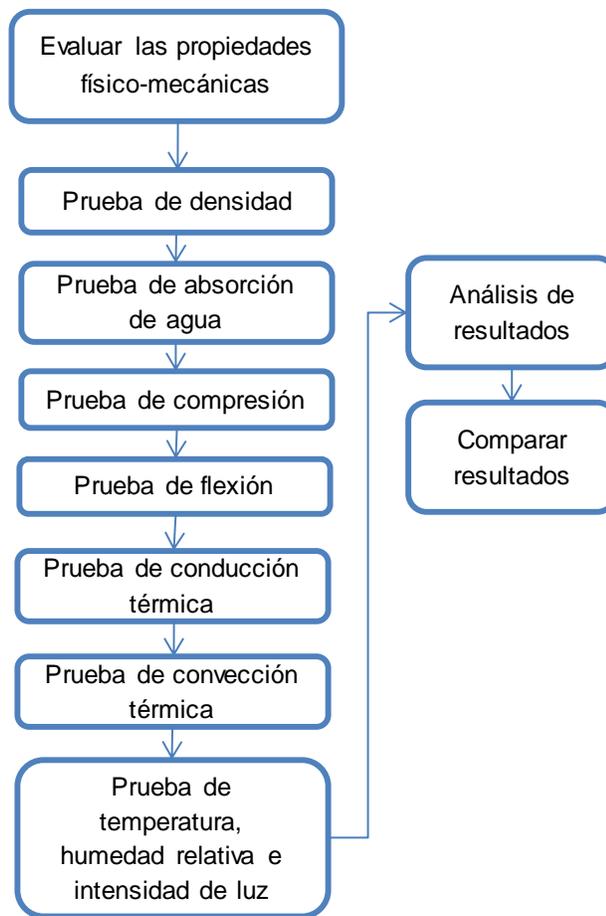
Así mismo, se corta con cortadora de disco manual en diferentes medidas el panel comercial de cemento adquirido, en el cual, se compara con panel fabricado.

**2.1.1.7. Curado de muestras**

Se realiza el proceso de curado en el cual cada muestra se expone al ambiente con una humedad relativa del 80% promedio anual en un lapso de tiempo de 28 días consecutivos con el fin de realizar posteriormente las pruebas físico-mecánicas.

**2.1.2. Objetivo específico No. 2**

Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las muestras consistentes en densidad, absorción de agua, compresión, flexión, conducción y convección térmica, temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, mediante normas ASTM (ver fig. 2.2).



*Fig. 2.2. Diagrama de flujo para evaluar las propiedades físico-mecánicas.*

### 2.1.2.1. Elaboración de pruebas físico-mecánicas

Las pruebas realizadas de acuerdo a equipos de laboratorio que existen en el Instituto, son las siguientes:

- Prueba de densidad ASTM C-138. Esta prueba cubre la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por el mismo, se utilizan especímenes de 20 cm por lado y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento, expresado la densidad en  $\text{kg/m}^3$ .
- Absorción de agua ASTM C-140. Esta prueba permite la determinación del porcentaje de absorción del panel a estudiar. El valor de absorción brinda una idea de la cantidad de agua que absorbe la unidad. Se utilizan especímenes de 20 cm por lado y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento.
- Compresión ASTM C-109. Esta prueba determina la resistencia a la compresión del panel a estudiar, utilizando especímenes cúbicos de 5 cm por lado, expresado en  $\text{kg/cm}^2$ .
- Prueba de flexión ASTM E-72. Esta prueba determina la resistencia a la flexión en el panel a estudiar, la carga se aplica en dos puntos a los cuartos de longitud del espécimen y se miden deformaciones en el centro, se utilizan especímenes de 40 cm de largo por 15 cm de ancho y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento, las unidades se expresan para los esfuerzos en  $\text{kg/cm}^2$ .
- Conducción térmica ASTM C-177. Se realiza esta prueba mediante el método de la placa caliente determinando la capacidad de transferir energía térmica (calor) por conducción, esto es, por contacto directo y sin intercambio

de materia en el panel a estudiar, se utilizan especímenes con un diámetro de 5 cm y un espesor de 1.27 cm, las unidades de conductividad térmica se expresan en W/mK.

- Convección térmica ASTM C-1363. Se realiza esta prueba mediante método de la caja caliente determinando la capacidad de transferir energía térmica (calor) por convección, esto es, el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa, se utilizan especímenes de 30 cm de largo por 11 cm de ancho y un espesor de 1.27 cm, las unidades de conductividad térmica se expresan en W/mK.
- Temperatura, humedad relativa e intensidad de luz. Esta prueba en base a cámara climática ECOSHEL C800D permitirá medir la capacidad del panel a estudiar para probar su resistencia a la intemperie. Se utilizan especímenes de 20 cm por lado y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento.

#### **2.1.2.2. Análisis de resultados de las pruebas**

Se analizarán los resultados de la prueba de densidad, absorción de agua, compresión, flexión, conducción térmica, convección térmica, temperatura, humedad relativa, e intensidad de luz, para conocer las propiedades del panel y así ver si cumple con los parámetros de acuerdo a normatividad.

#### **2.1.2.3. Comparación de resultados de las pruebas**

Se comparan los resultados de densidad, absorción de agua, compresión, flexión, conducción térmica, convección térmica, temperatura, humedad relativa, e intensidad de luz, con respecto a paneles similares en el mercado de la industria de la construcción.

### 2.1.3. Objetivo Específico No. 3

Análisis de costos del panel contra paneles ligeros con características similares en el mercado (ver fig. 2.3).

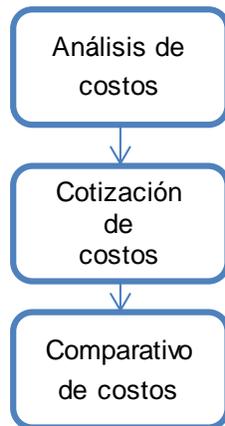


Fig. 2.3. Diagrama de flujo de análisis de costos.

#### 2.1.3.1. Cotización de costos

Se cotizan costos de paneles con características similares en el mercado mediante vía online y telefónica.

#### 2.1.3.2. Comparativo de costos

Ya teniendo los costos de paneles con características similares en el mercado se comparan con el costo del panel realizado por  $m^2$ , estableciendo las ventajas y desventajas del panel contra los demás paneles en cuanto a costo.

### 2.1.4. Diagrama de actividades del objetivo general

Desarrollar un panel alternativo, económico, ligero, flexible y resistente a la intemperie, cumpliendo con características físico-mecánicas de acuerdo a normatividad internacional (*ver fig. 2.4*).

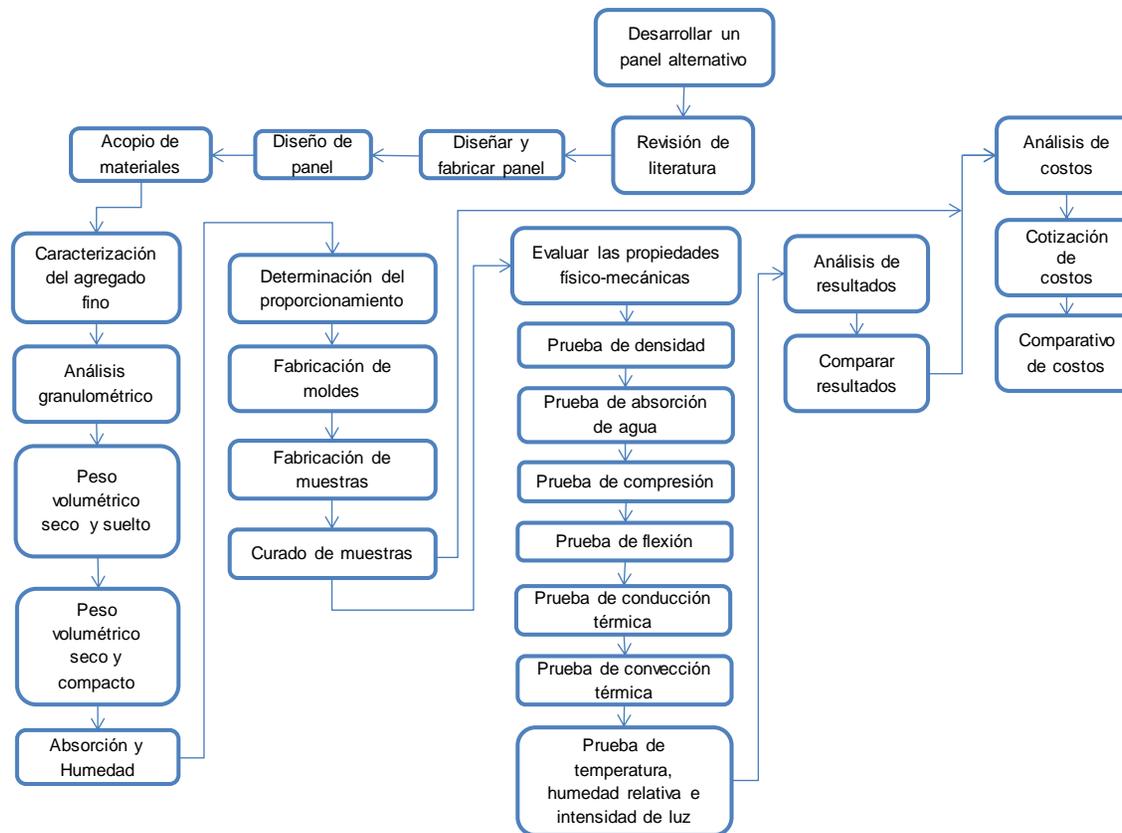


Fig. 2.4. Diagrama de flujo para desarrollar un panel alternativo.

## 2.2. Diseño experimental

Se elaboran 120 muestras para la fabricación de panel de cemento en diferentes proporciones y por consiguiente se cortan 120 piezas de panel comercial de cemento, utilizando un total de 240 piezas para la realización de las pruebas de laboratorio (ver fig. 2.5).

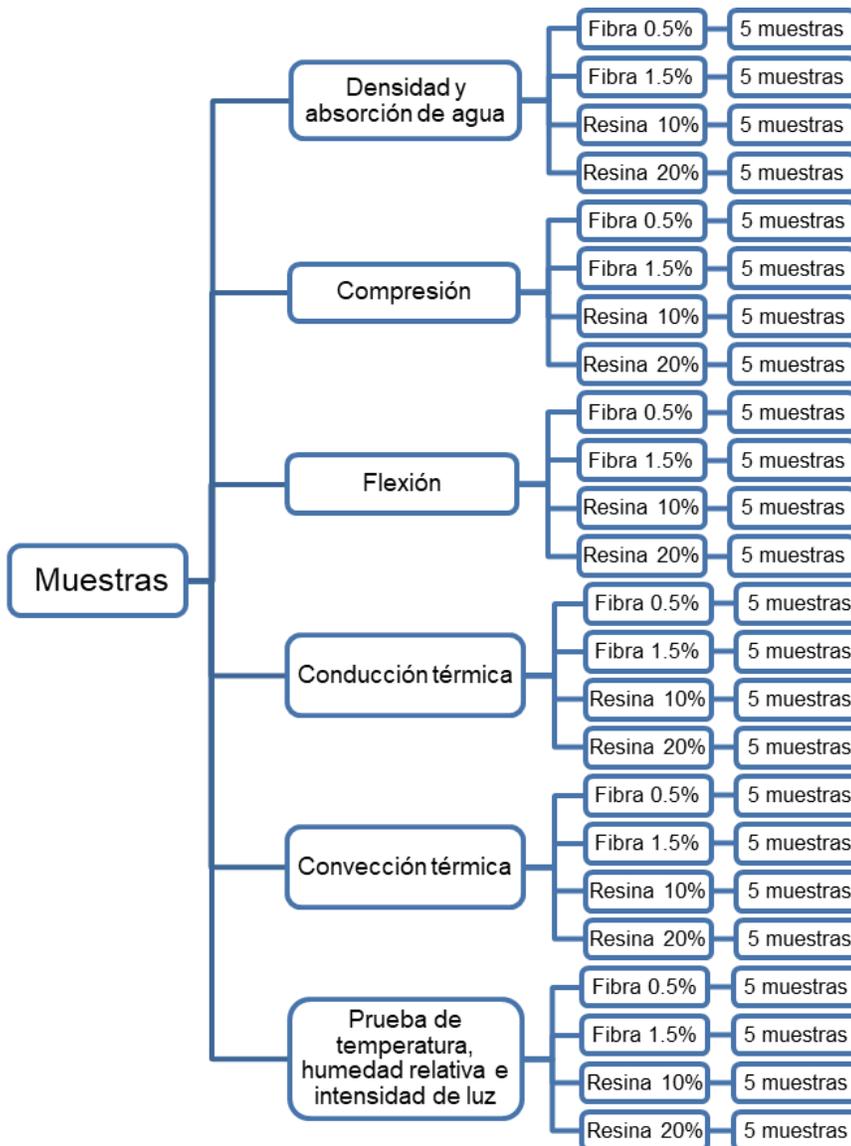


Fig. 2.5. Diagrama de diseño experimental.

# **Capítulo 3**

## **Trabajo de laboratorio**

## Capítulo 3 . Trabajo de laboratorio

### 3.1. Diseño y fabricación de panel

#### 3.1.1. Diseño de panel

El panel de cemento propuesto se puede fabricar en diferentes dimensiones de acuerdo al uso que se le dé, en base al espesor se opta por 0.635 cm (1/4 in), esto es con el propósito de innovar un elemento compuesto que sea resistente a la intemperie, ligero y flexible, más económico y de bajo mantenimiento en la industria de la construcción en México.

En base a la revisión de la literatura se tenía definido que proporcionamiento utilizar (cemento –agregado fino - agua 1:1:1/2, fibra de polipropileno 0.5 - 1.5% y resina de poliéster insaturado 10 - 20%), sin embargo; al realizar muestras con estas variables dieron resultados insatisfactorios en la conformación del panel.

Por tanto, se elaboran pruebas piloto con otras proporciones para verificar si lo descrito en las publicaciones es acorde a los resultados que se desean obtener ya que el elemento de estudio es innovador (*ver tabla 3.1*).

*Tabla 3.1. Muestras piloto en diferentes proporciones.*

Descripción	Proporción 1	Proporción 2	Proporción 3	Proporción 4
Muestra				
Características				
Dimensión	20x20 cm	20x20 cm	20x20 cm	20x20 cm
Espesor	1/4"	1/4"	1/4"	1/4"
Peso	530 gr	520 gr	500 gr	505 gr

Aproximado				
Materiales				
Cemento	5	5	5	5
Agregado Fino	1	1	1	1
Agua	25%	25%	25%	0.00
Fibra de Polipropileno	0.5-1.5%	0.5-1.5%	0.5-1.5%	0.5-1.5%
Resina de Poliéster	20%	30%	40%	50%

Dado a la elaboración de las muestras pilotos con el ajuste en las proporciones se logra un panel con una buena conformación por lo que se decide a realizar el ajuste en proporción y así buscar el más óptimo de acuerdo a dichas proporciones que se mencionan en la *tabla 3.2*.

*Tabla 3.2. Muestras con proporciones óptimas.*

Material	Proporción 1	Proporción 2	Proporción 3	Proporción 4
Cemento	5	5	5	5
Agregado Fino	1	1	1	1
Agua	25%	25%	25%	25%
Fibra de Polipropileno	1.5%	0.5%	1.5%	0.5%
Resina de Poliéster	40%	40%	30%	30%

A partir de las proporciones cemento –agregado fino - agua, fibra de polipropileno y resina de poliéster insaturado se elaboran paneles.

### 3.1.2. Acopio de materiales

Mediante recursos propios se adquieren materiales, el cemento, agregado fino y fibras de poliestireno se compra en tienda de materiales de la ciudad, mientras la resina de poliéster insaturado se adquiere en la ciudad de Mérida, Yucatán (ver fig. 3.1).



*Fig. 3.1. Materiales utilizados.*

Se adquiere de igual forma panel de cemento que se utiliza comercialmente en México, en el cual, se compara con panel fabricado (ver fig. 3.2).



*Fig. 3.2. Panel comercial de cemento.*

### 3.1.3. Caracterización del agregado fino

Los agregados finos de la región provienen de piedra caliza triturada, siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Para la caracterización del agregado fino como componente del panel se toma de base la Norma ASTM C33, realizando las siguientes pruebas: granulometría de los agregados finos, peso volumétrico seco y suelto, peso volumétrico seco y compacto, absorción y humedad.

#### 3.1.3.1. Análisis granulométrico del agregado fino

Se utilizó una muestra representativa de agregado fino, mezclándola completamente y reduciéndola a una cantidad apropiada para la prueba por cuarteo (*ver fig. 3.3*). En el método por cuarteo, la muestra se situó sobre una superficie dura y limpia, la muestra se mezcló con una pala, empezando por un extremo y tomando paladas alternadas del material, formando con la pala una forma cónica de material, aplastando el material cuidadosamente hasta que tenga un espesor y un diámetro uniforme, de manera que el material no se transponga de un cuarto a otro, el material aplanado, se divide en cuartos mediante una regla, se sacan dos cuartos opuestos dejando el espacio libre y limpio. El material restante se extiende y se divide en cuartos sucesivamente hasta que la muestra se reduce al tamaño de prueba de 500 gramos.



*Fig. 3.3. Mezcla del agregado fino.*

Posteriormente la muestra seleccionada se seca en el horno a peso constante a una temperatura de 110°C, la cantidad de muestra pesada se cernió en las mallas superpuestas de mayor a menor, se vació el material sobre pila de mallas y se agito mediante cribadora eléctrica por un lapso de tiempo de 10 minutos, las porciones se colocaron por separado para después pesarlos, pesando cada una de las porciones obtenidas en el cribado, con aproximación hasta de 0.1 gr, en el orden de tamaños correspondientes a 9.52 mm (3/8”), 4.75 mm (No.4), 2.36 mm (No.8), 1.18 mm (No.16), 0.60 mm (No.30), 0.30 mm (No.50), 0.15 mm (No.100), anotando los valores en una hoja de registro, coincidiendo la suma de los pesos con el peso total de la muestra empleada (*ver fig. 3.4*).



*Fig. 3.4. Prueba de granulometría del agregado fino.*

Para graficar los resultados obtenidos, en cada malla se calcula el porcentaje retenido dividiendo el peso retenido entre el peso de la muestra empleada y se multiplica el cociente por 100. Posteriormente se redondean los números enteros, que sumaran 100 para enseguida calcular el porcentaje retenido acumulado, que se obtendrá sumando los porcentajes retenidos en cada malla. Para obtener el módulo de finura del agregado fino, el análisis granulométrico debe convertirse a porcentaje acumulado retenido por las mallas números 4, 8, 16, 30, 50 y 100, estos porcentajes acumulados se suman y se dividen entre 100 (*ver tabla 3.3*).

Tabla 3.3. Resultados de análisis granulométrico del agregado fino obtenido.

Malla	Peso (kg)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa acumulado
No. 3/8"	0.000	0	0	100
No. 4	0.030	6	6	94
No. 8	0.120	24	30	70
No. 16	0.100	20	50	50
No. 30	0.075	15	65	35
No. 50	0.045	9	74	26
No. 100	0.035	7	81	19
Charola	0.095	19	100	0
Total	0.500	100	306	

Se calcula módulo de finura:  $\% \text{ retenido acumulado} / 100 = 306/100 = 3.06$

En base a *tabla 3.3* se realiza *fig. 3.5*, a continuación se presenta:

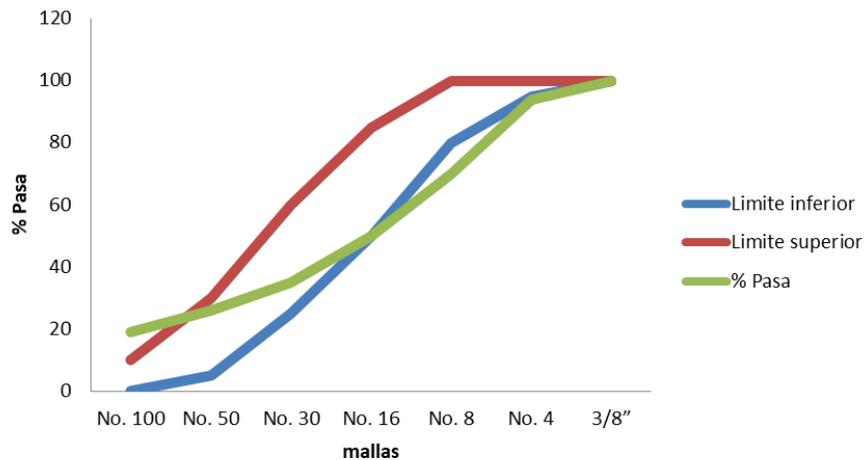


Fig. 3.5. Gráfica de análisis granulométrico del agregado fino obtenido.

Se realiza ajuste en el material mediante *tabla 3.4* para que se comporte de mejor forma el agregado fino.

Tabla 3.4. Resultados de análisis granulométrico del agregado fino ajustado.

Malla	Límites de % que pasa	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa acumulado
No. 3/8"	100	0	0	100
No. 4	95 a 100	4	4	96
No. 8	80 a 100	12	16	84
No. 16	50 a 85	29	45	55
No. 30	25 a 60	20	65	35
No. 50	5 a 30	9	74	26
No. 100	0 a 10	7	81	8
Charola		19	100	0
Total		100	285	

Se calcula módulo de finura:  $\% \text{ retenido acumulado} / 100 = 285/100 = 2.85$

En base a *tabla 3.4* se realiza *fig. 3.6*, a continuación se presenta:

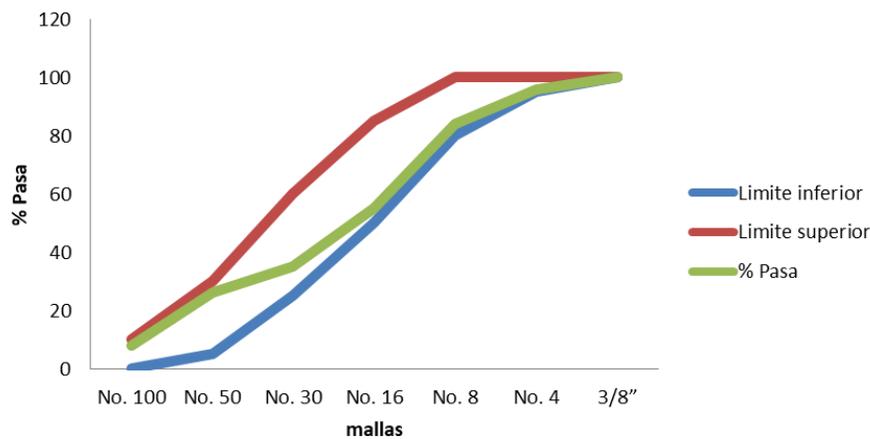


Fig. 3.6. Gráfica de análisis granulométrico del agregado fino ajustado.

El módulo de finura del agregado fino es de 2.85, encontrándose en el rango permitido con respecto al contenido de finos que se maneja en la zona (2.4 a 3) y la curva granulométrica se comporta adecuadamente entre los rangos inferior y

superior de la gráfica, indicando de esta forma que el material se encuentra entre los parámetros que marca la norma ASTM C33.

### 3.1.3.2. Peso volumétrico seco y suelto del agregado fino

Es el peso de un  $m^3$  de agregado fino considerando los vacíos o espacios que hay entre las partículas del agregado. Un agregado bien graduado tiene un contenido más bajo de vacíos que otro que consiste de un solo tamaño. La cantidad de vacíos se ve afectada tanto por la forma de las partículas como por la graduación de los agregados.

Se utilizó una muestra representativa de agregado fino, cuarteándolo y secándolo en el horno a una temperatura de  $105^{\circ}C$  a peso constante, se pesó el recipiente vacío, empleando un cucharón se tomó material y se dejó caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cm hasta llenarlo y posteriormente enrasarlo, utilizando la regla de 30 cm, se pesa el recipiente con el material y se registra su peso (*ver fig. 3.7*).



*Fig. 3.7. Prueba de peso volumétrico seco y suelto del agregado fino.*

Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r}$$

Dónde:

$W_m$  = Peso del material = kg

$V_r$  = Volumen del recipiente = m<sup>3</sup>

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a tabla 3.5.

*Tabla 3.5. Resultados de peso volumétrico seco y suelto del agregado fino.*

Muestra No.	1	2	3
Volumen Tara (m <sup>3</sup> )	10.067 x 10 <sup>-3</sup>	10.067 x 10 <sup>-3</sup>	10.067 x 10 <sup>-3</sup>
Peso Tara (kg)	4.82	4.82	4.82
Peso Tara + Polvo (kg)	21.97	22.14	22.26
Peso del Polvo (kg)	17.15	17.32	17.44
Peso Volumétrico (kg/m <sup>3</sup> )	1703.59	1720.47	1732.39
Promedio de peso volumétrico seco y suelto (kg/m <sup>3</sup> )			1718.82

### 3.1.3.3. Peso volumétrico seco y compacto del agregado fino

Para la realización de esta prueba de acuerdo a la norma ASTM C 29 la arena se extendió en una superficie plana al aire libre para ser secado al sol y posteriormente cuarteado. Se pesó el recipiente vacío del cual conocemos su volumen para luego empleando el cucharón se tomó el material y se dejó caer dentro del recipiente desde una altura de 5cm, llenando el recipiente en 3 capas, dándole 25 golpes de varilla a cada capa, después se procedió a enrasar y pesar el recipiente conteniendo el material y se registró su peso.



Fig. 3.8. Prueba de peso volumétrico seco y compacto del agregado fino.

Se calculó el peso volumétrico del material seco y compactado, con la fórmula:

$$\text{P.V.S.C.} = \frac{W_m}{V_r}$$

Dónde:

$W_m$  = Peso del material

$W_m$  = (Peso del recipiente + material) – (Peso del recipiente) = kg

$V_r$  = Volumen del recipiente =  $m^3$

A continuación se presentan los resultados de acuerdo a tabla 3.6.

*Tabla 3.6. Resultados de peso volumétrico seco y compacto del agregado fino.*

Muestra No.	1	2	3
Volumen Tara ( $m^3$ )	$10.067 \times 10^{-3}$	$10.067 \times 10^{-3}$	$10.067 \times 10^{-3}$
Peso Tara (kg)	4.82	4.82	4.82
Peso Tara + Polvo (kg)	23.48	23.69	23.84
Peso del polvo (kg)	18.66	18.87	19.02
Peso Volumétrico ( $kg/m^3$ )	1853.58	1874.44	1889.34
Promedio de peso volumétrico seco y compacto ( $kg/m^3$ )	1872.45		

### 3.1.3.4. Absorción del agregado fino

Para determinar el porcentaje de absorción del agregado fino se sumergió 2 kilos de agregado en agua durante 24 horas. Pasado dicho tiempo se escurrió el agua sobrante y se extendió sobre una superficie plana y se dejó al aire libre considerando que solo perdiera el agua superficial, para luego proseguir con el llenado del cono truncado, compactando suavemente con el pisón dándole 25 golpes, hasta que enrasamos al borde del molde. Se observó el comportamiento del agregado fino al levantar el molde. Ya que se debía formar un cono invertido, esta característica la conseguimos a la tercera vez ya que las dos primeras veces la parte base superior quedo plana. Por lo que se volvió a poner al aire libre el material procurando que se no se secase de más. Una vez que la muestra quedo en forma de cono, se pesó 500 gramos de esa muestra y anotando el peso, posteriormente el material se colocó en el horno, hasta peso constante (24 horas), de ahí se secó el material y se dejó enfriar para luego pesarlo y anotarlo para los cálculos posteriores (ver fig. 3.9).



*Fig. 3.9. Prueba de porcentaje de absorción del agregado fino.*

Se calculó el porcentaje de absorción de la arena de acuerdo a la fórmula:

$$\% \text{ de absorción} = [(B - A) / A] \times 100$$

Dónde:

A: Peso de la muestra seca en gramos (peso constante)

B: Peso de la muestra saturada en gramos (peso seco suelto superficialmente)

A continuación se presentan cálculos y resultados de acuerdo a *tabla 3.7*.

*Tabla 3.7. Resultados del % de absorción del agregado fino.*

Muestra No.	Formula	%
1	% de absorción = $[(500 - 500) / 500] \times 100$	0
2	% de absorción = $[(500 - 495) / 495] \times 100$	1.01
3	% de absorción = $[(500 - 490) / 490] \times 100$	2.04
Promedio del % de absorción		1.02

### 3.1.3.5. Humedad del agregado fino

Con el propósito de determinar la cantidad de agua que posee una muestra de agregado fino con respecto al peso seco de la muestra, se utilizó 500 gramos del agregado fino anotando el peso del material con el recipiente para el cálculo posterior. El material fue colocado en el horno por 24 horas, pasado el tiempo se volvió a pesar con el recipiente y se anotó el peso (*ver fig. 3.10*).



*Fig. 3.10. Prueba de humedad del agregado fino.*

Se calculó el contenido de humedad (w) de la muestra de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$w = (M_h - M_s) / (M_s - M_r) * 100 (\%)$$

Dónde:

M<sub>h</sub> = peso del recipiente más la muestra del agregado húmedo en gramos.

M<sub>s</sub> = peso del recipiente más la muestra del agregado seco en gramos.

M<sub>r</sub> = peso del recipiente en gramos.

A continuación se presentan los cálculos y resultados de acuerdo a *tabla 3.8*.

*Tabla 3.8. Resultados del % de humedad del agregado fino.*

Muestra No.	1	2	3
Tara + Muestra del agregado húmedo (gr)	515	515	515
Tara + Muestra del agregado seco (gr)	440	450	445
Tara (gr)	15	15	15
Peso del agregado seco (gr)	425	435	430
Peso del agua (gr)	75	65	70
Contenido de humedad (%)	17.65	14.94	16.28
Humedad promedio del agregado fino (%)			16.29

### **Contenido de humedad**

(Material que pasa la malla No. 16)

De igual manera se procedió de la misma manera antes descrita, se utilizó 500 gramos del agregado fino anotando el peso del material con el recipiente para el cálculo posterior. El material fue colocado en el horno por 24 horas, pasado el tiempo se volvió a pesar con el recipiente y se anotó el peso.

Se calculó el contenido de humedad (w) de la muestra de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$w = (Mh - Ms) / (M s - Mr) * 100 (\%)$$

Dónde:

Mh = peso del recipiente más la muestra del agregado húmedo en gramos.

Ms = peso del recipiente más la muestra del agregado seco en gramos.

Mr = peso del recipiente en gramos.

A continuación se presentan los cálculos y resultados de acuerdo a *tabla 3.9*.

*Tabla 3.9. Resultados del % de humedad del agregado fino que pasa la malla No. 16.*

Muestra No.	1	2	3
Peso del recipiente más la muestra del agregado húmedo (gramos)	115	115	115
Peso del recipiente más la muestra del agregado seco (gramos)	114	114	115
Peso del recipiente (gramos)	15	15	15
Peso del agregado seco (gramos)	99	99	100
Peso del agua (gramos)	1	1	0
Contenido de humedad (%)	1.01	1.01	0
Humedad promedio del agregado fino que pasa la malla No. 16. (%)			0.67

#### 3.1.4. Fabricación de moldes para las muestras

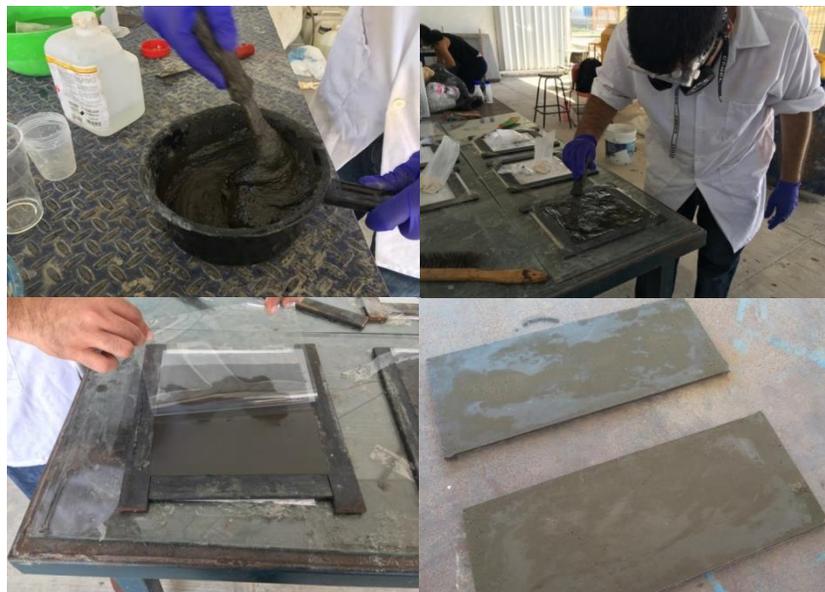
Se realizan moldes para el diseño experimental a base de soleras de acero con una sección de 1 1/4" x 1/4" con una base de cristal de 6 mm de espesor y una hoja de acetato, las medidas para la prueba de flexión de 60 cm de longitud por 15 cm de ancho y un 0.635 cm de espesor, y para las otras pruebas con moldes de 20 cm de longitud por 20 cm de ancho y un 0.635 cm de espesor (*ver fig. 3.11*).



*Fig. 3.11. Fabricación de moldes para las muestras.*

### 3.1.5. Fabricación de muestras

El proceso de fabricación de las muestras consistió en pesar cada uno de los materiales de acuerdo a las proporciones, mezclar los materiales buscando obtener una mezcla uniforme, preparar el molde añadiendo desmoldante en las paredes del molde para que al contacto con la mezcla posterior a su fraguado pudiera desprenderse con facilidad y eficiencia del proceso de producción, verter la mezcla, para posteriormente dejar secar a temperatura ambiente por un lapso de 1 hora hasta obtener rigidez, ya habiéndose obtenido la muestra se procede a descimbrar (ver fig. 3.12).



*Fig. 3.12. Fabricación de muestras.*

Se corta con cortadora de disco manual el panel de cemento que se utiliza comercialmente en México, en el cual, se compara con panel fabricado en diversas medidas de acuerdo a prueba (ver *fig. 3.13*).



*Fig. 3.13. Muestras de panel comercial de cemento.*

### **3.1.6. Curado de muestras**

El curado es un proceso en el cual cada muestra se expone al ambiente con una humedad relativa del 80% promedio anual en un lapso de tiempo de 28 días consecutivos con el fin de realizar posteriormente las pruebas físico-mecánicas (ver *fig. 3.14*).



*Fig. 3.14. Curado de muestras.*

# **Capítulo 4**

## **Resultados y análisis**

## Capítulo 4 . Resultados y análisis

A continuación se describen los resultados mediante tablas y gráficas, considerando cinco variables independientes, entre las cuales, cuatro corresponden a proporciones para la fabricación del panel y una corresponde a panel comercial, comparando los resultados de las pruebas realizadas, así mismo, se obtienen costos de los paneles fabricados de cemento en diversas proporciones en base a material, mano de obra, herramienta y equipo utilizados, para posteriormente realizar comparativa.

### 4.1. Propiedades físico mecánicas

#### 4.1.1. Densidad

Esta prueba de densidad de acuerdo a norma ASTM C-138, cubre la relación entre el peso del material y el volumen ocupado por el mismo, se utilizan especímenes de 20 cm por lado y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento, expresado la densidad en  $\text{kg/m}^3$  (ver fig. 4.1).



Fig. 4.1. Prueba de densidad de las muestras.

Analizando los resultados de densidad del panel de cemento fabricado en diversas proporciones, se observa que hay una densidad del doble en ellos con respecto al panel comercial de cemento, sin embargo, comparándolo por pieza es similar el peso ya que se considera un menor espesor en él (ver fig. 4.2 y 4.3).

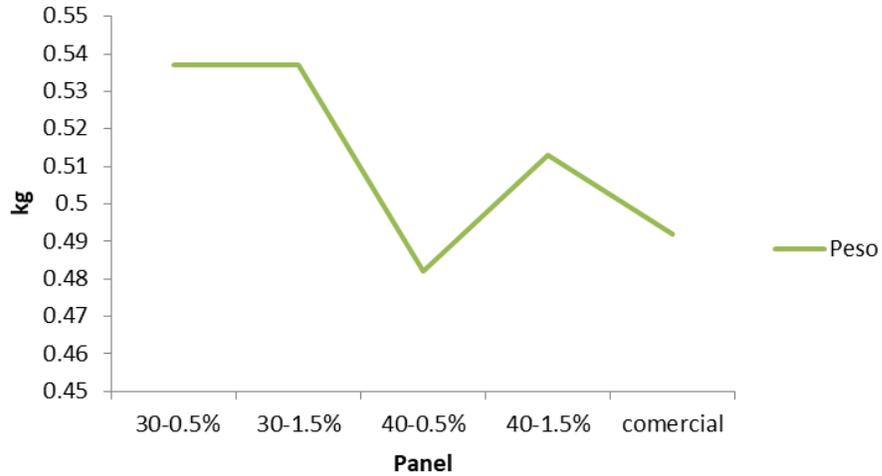


Fig. 4.2. Gráfica de peso de las muestras de 20x20 cm (ver anexo A.1-5).

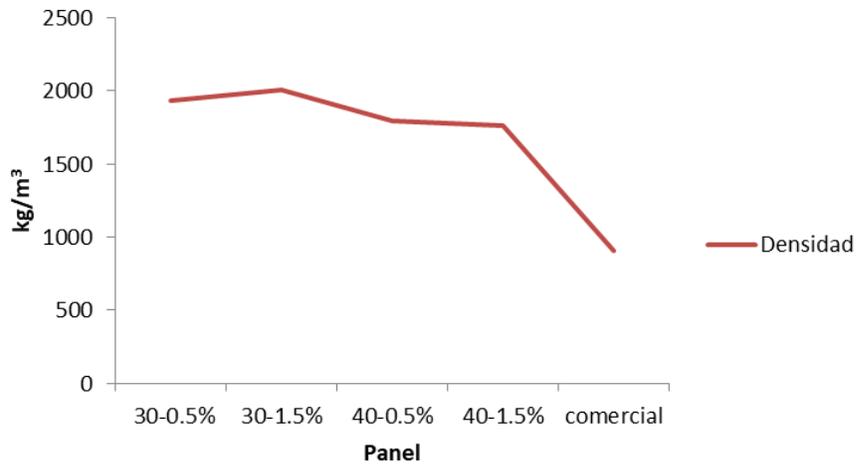


Fig. 4.3. Gráfica de densidad de las muestras (ver anexo A.1-5).

#### 4.1.2. Absorción de agua

Esta prueba de absorción de agua de acuerdo a norma ASTM C-140, permite la determinación del porcentaje de absorción del panel a estudiar. El valor de absorción brinda una idea de la cantidad de agua que absorbe la unidad. Se utilizan especímenes de 20 cm por lado y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento (ver fig. 4.4.).

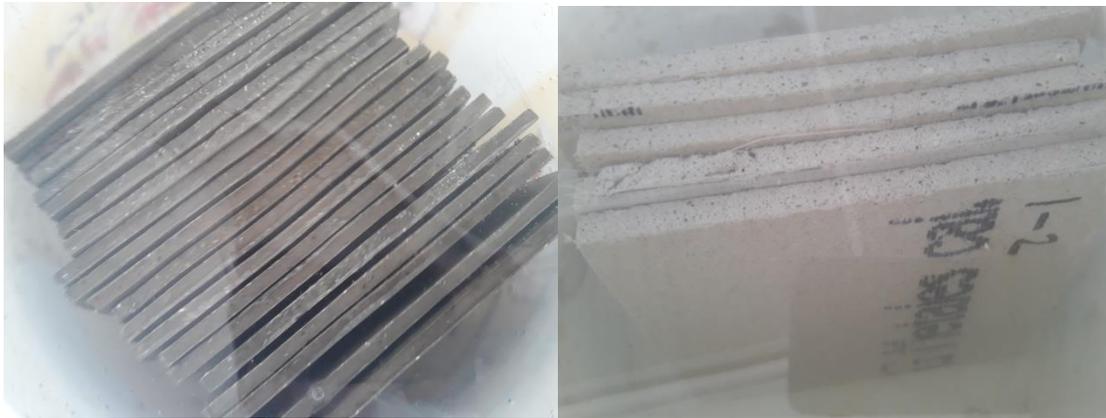


Fig. 4.4. Prueba de absorción de agua de las muestras.

Analizando los resultados de absorción del panel de cemento fabricado en diversas proporciones, se determina que se obtuvo una absorción casi nula en ellos (1 a 2%). En cambio en el panel comercial de cemento se obtuvo una absorción muy grande (17 a 18%), concluyendo, cuanto menor sea el grado de absorción de agua de los materiales, mayor es su resistencia (C. Galán, 2001), (ver fig. 4.5).

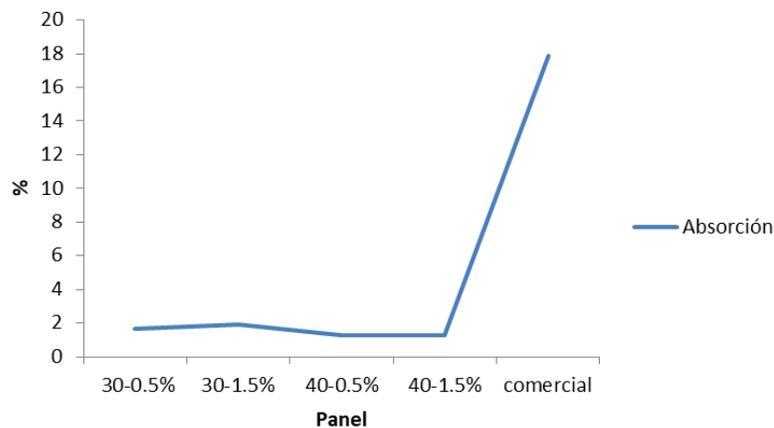


Fig. 4.5. Gráfica de porcentaje de absorción de las muestras (ver anexo B.1-5).

#### 4.1.3. Compresión

Esta prueba de compresión de acuerdo a norma ASTM C-109, determina la resistencia a la compresión del panel a estudiar, utilizando especímenes cúbicos de 5 cm de lado, expresado en  $\text{kg/cm}^2$  (ver fig. 4.6).



Fig. 4.6. Prueba de compresión de las muestras.

Analizando los resultados de compresión del panel de cemento fabricado en diversas proporciones, se determina que se obtuvo un mayor esfuerzo a compresión cuando la proporción del panel es de 40-1.5% y 40-0.5%, alcanzando una resistencia promedio a compresión de 350.00 kg/cm<sup>2</sup>, mientras en las proporciones de 30-1.5% y 30-0.5%, se alcanza una resistencia promedio a compresión de 250 kg/cm<sup>2</sup>. En tanto el panel comercial de cemento obtuvo una resistencia promedio a compresión muy pequeña de 85 kg/cm<sup>2</sup> (ver fig. 4.7), por tanto, se obtuvo alta resistencia a compresión del panel de cemento fabricado en diversas proporciones por las características físico mecánicas que brindan los polímeros (M. Miriam y P. Ravikumar, 2016 y S. Alsadey, 2016).

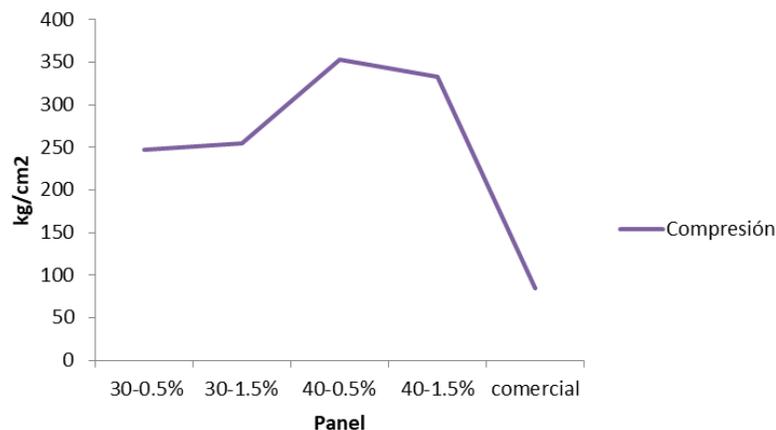


Fig. 4.7. Gráfica de compresión de las muestras (ver anexo C.1-5).

#### 4.1.4. Flexión

El tesista diseño e implemento un procedimiento alternativo para el ensaye a flexión con el objeto de aplicar pequeñas cargas a las muestras de acuerdo a norma ASTM E-72 (*ver fig. 4.8*), consistiendo dicha prueba, en la determinación de la resistencia a la flexión en el panel a estudiar, la carga se aplica en dos puntos a los cuartos de longitud del espécimen y se miden deformaciones en el centro, se utilizan especímenes de 40 cm de largo por 15 cm de ancho y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento, las unidades se expresan para los esfuerzos en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .



*Fig. 4.8. Prueba de flexión de las muestras.*

Se obtienen los resultados de esfuerzo a flexión mediante software mdsolids, analizando los resultados del panel de cemento en diversas proporciones, se determina que se obtuvo un mayor esfuerzo a flexión cuando la proporción del panel es de 40-1.5% y 40-0.5%, alcanzando una resistencia promedio a flexión de  $165.00 \text{ kg}/\text{cm}^2$ , mientras en las proporciones de 30-1.5% y 30-0.5%, se alcanza una resistencia promedio a flexión de  $110 \text{ kg}/\text{cm}^2$ . En tanto el panel comercial obtuvo un menor esfuerzo a flexión teniendo una resistencia promedio a flexión de  $85 \text{ kg}/\text{cm}^2$  (*ver fig. 4.9*), por tanto, se obtuvo una resistencia a flexión considerable del panel de cemento fabricado en diversas proporciones por las características físico mecánicas que brindan los polímeros (M. Miriam y P. Ravikumar, 2016 y S. Alsadey, 2016).

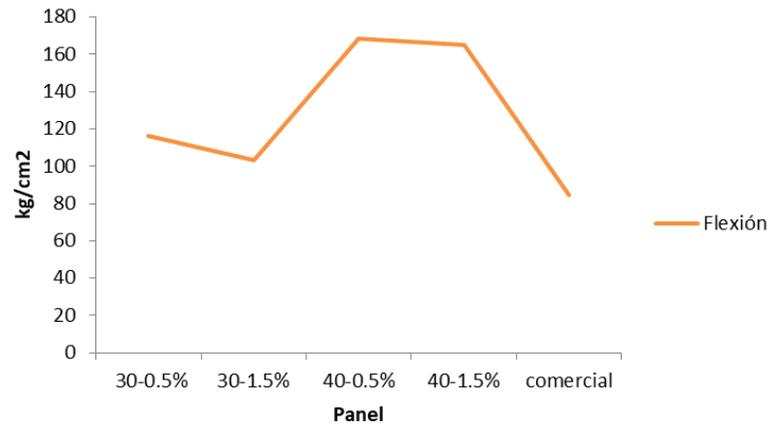


Fig. 4.9. Gráfica de flexión de las muestras (ver anexo D.1-5).

Con respecto a las deformaciones cuando la proporción del panel de cemento es de 40-1.5% y 40-0.5%, se alcanzan deformaciones promedio de 21 mm, mientras en las proporciones de 30-1.5% y 30-0.5%, se alcanzan deformaciones promedio de 14 mm. En tanto el panel comercial de cemento tiene una deformación promedio de 38.01 mm; comparándolos hay una diferencia muy grande entre ellos en lo que se refiere a deformación en esta prueba a favor del panel comercial de cemento, sin embargo, hay que enfatizar que el panel comercial de cemento tiene el doble de espesor (ver fig. 4.10).

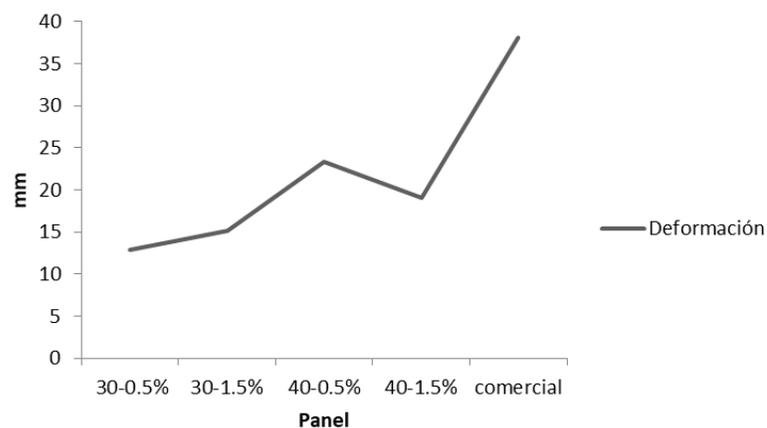


Fig. 4.10. Gráfica de deformación de las muestras (ver anexo D.1-5).

#### 4.1.5. Conductividad térmica

Se realiza esta prueba de conductividad térmica de acuerdo a norma ASTM C-177, mediante el método de la placa caliente determinando la capacidad de transferir energía térmica (calor) por conducción, esto es, por contacto directo y sin intercambio de materia en el panel a estudiar, se utilizan especímenes con un diámetro de 5 cm y un espesor de 1.27 cm, las unidades de conductividad térmica se expresan en W/mK (ver fig. 4.11).



Fig. 4.11. Prueba de la placa caliente de las muestras.

Analizando los resultados de conductividad térmica del panel de cemento fabricado en diversas proporciones, se observa que se obtuvo una menor conductividad cuando la proporción del panel de cemento es de 40-0.5% y 40-1.5%, alcanzando una conductividad térmica promedio de 0.381 W/mK, mientras en las proporciones de 30-0.5% y 30-1.5%, se alcanza una conductividad térmica promedio de 0.445 W/mk. En tanto, el panel comercial de cemento tiene una conductividad térmica promedio de 0.224 W/mK, observando los resultados, la conductividad térmica en los paneles debe ser mucho menor (ver tabla 1.2), resultando no ser aislantes térmicos los paneles en estudio (ver fig. 4.12).

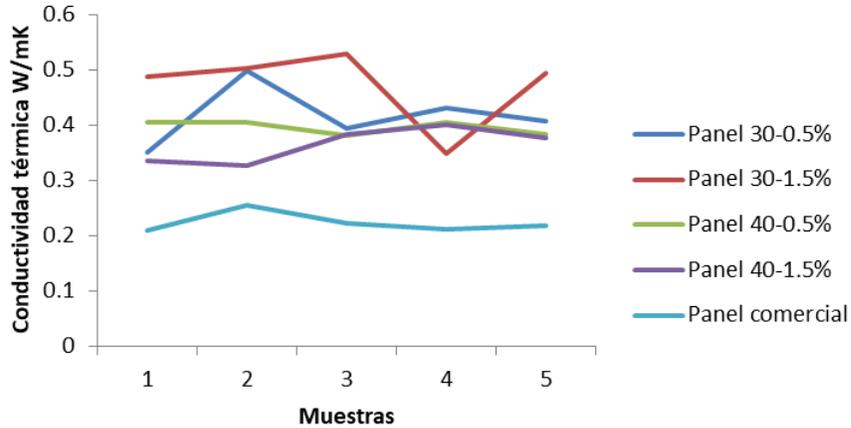


Fig. 4.12. Gráfica de conductividad térmica de las muestras (ver anexo E).

Con respecto a la parte de no ser aislante térmico, los paneles se pueden complementar con elementos constructivos que presentan aislamiento térmico (I. de Obeso Partida, 2018), como por ejemplo efectuar el efecto chimenea, el edificio “respira” a través de la ventilación, es decir, el flujo continuo de aire entre el revestimiento y las capas interiores de la pared (ver fig. 4.13).

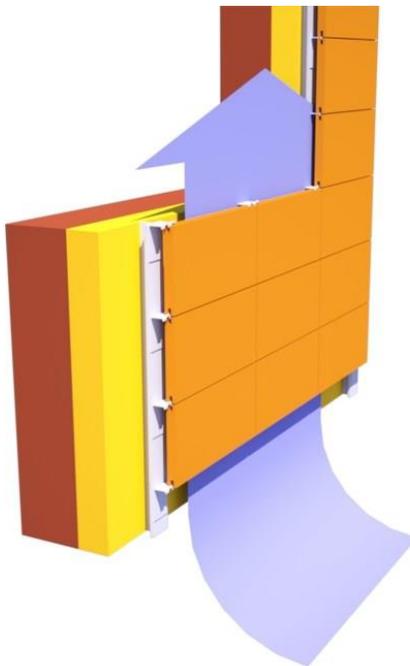
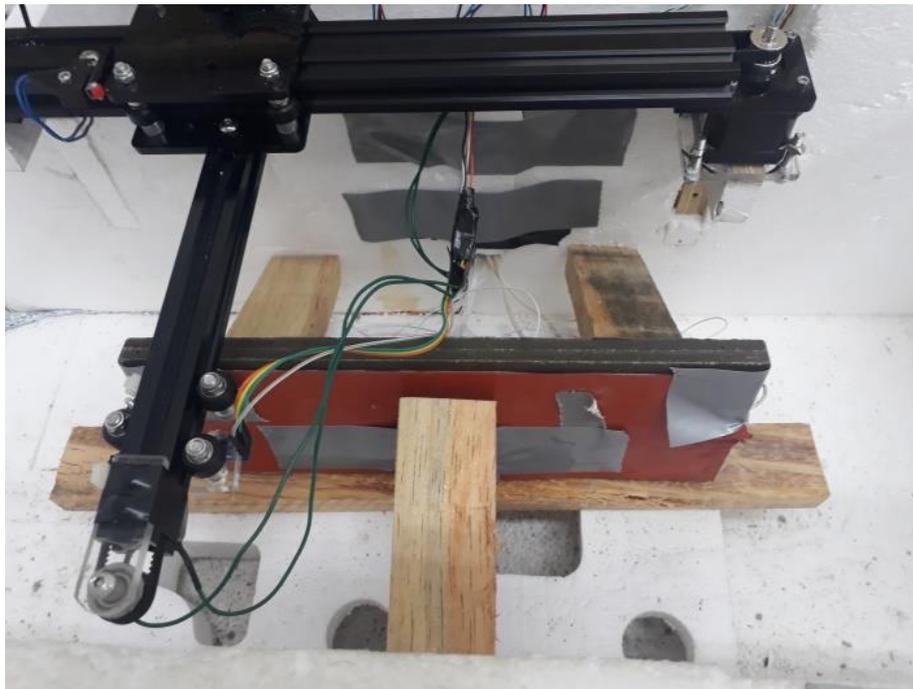


Fig. 4.13. Efecto chimenea.

#### 4.1.6. Convección térmica

Se realiza esta prueba de convección térmica de acuerdo a norma ASTM C-1363, mediante método de la caja caliente determinando la capacidad de transferir energía térmica (calor) por convección, esto es, el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa, se utilizan especímenes de 30 cm de largo por 11 cm de ancho y un espesor de 1.27 cm, las unidades de conductividad térmica se expresan en W/mK (ver fig. 4.14).



*Fig. 4.14. Prueba de la caja caliente de las muestras.*

Analizando los resultados de las pruebas de convección térmica de los paneles de cemento fabricado en diversas proporciones y comerciales, se observa que se obtuvo como resultados de convección térmica de 0.388 a 0.430 W/mK, observando los resultados, la convección térmica en los paneles debe ser mucho menor (ver tabla 1.2), resultando no ser aislantes térmicos los paneles en estudio (ver fig. 4.15); sin embargo, como se menciona en el apartado anterior, los paneles se pueden complementar con elementos constructivos que presentan aislamiento térmico (I. de Obeso Partida, 2018).

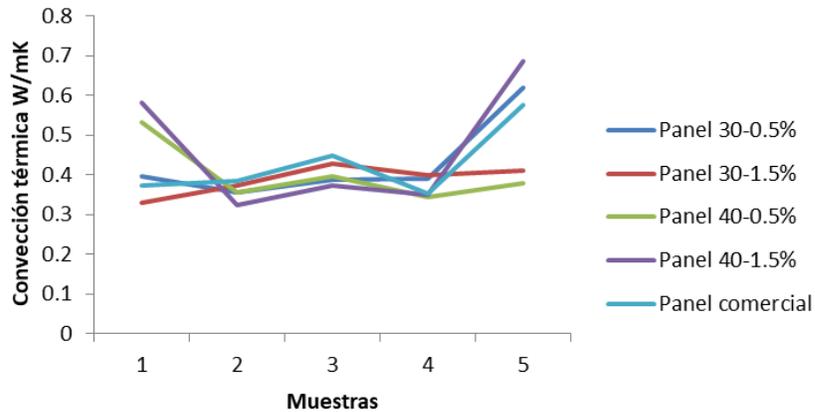


Fig. 4.15. Gráfica de convección térmica de las muestras (ver anexo F).

#### 4.1.7. Temperatura, humedad relativa e intensidad de luz

Esta prueba en base a cámara climática ECOSHEL C800D permitirá medir la capacidad del panel a estudiar para probar su resistencia a la intemperie. Se utilizan especímenes de 20 cm por lado y un espesor de 0.635 cm para el panel de cemento y 1.27 cm para el panel comercial de cemento (ver fig. 4.16).



Fig. 4.16. Cámara climática (prueba de temperatura, humedad relativa, intensidad de luz de las muestras).

La cámara climática ofrece un microambiente artificial controlado, de forma automática; programando los periodos de exposición de las muestras a temperatura, humedad relativa, intensidad de luz y tiempo (*ver tabla 4.1*).

*Tabla 4.1. Periodos de exposición de las muestras en cámara climática.*

Periodo	Horario h	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Nivel de Luminosidad 1 al 8
1	6 A 12	29	80	4
2	12 A 18	35	80	8
3	18 A 22	29	80	4
4	22 A 6	26	80	0

Con el software ImageJ se obtuvo histogramas de intensidad de cada imagen, pudiendo observar una distribución en la intensidad en color negro que representa las cavidades de la muestra; se obtuvo el espectro de imagen que conceptualiza las profundidades de los poros en la muestra en una escala de grises donde el blanco representa la porosidad y el negro representa el relieve superficial, pudiéndose calificar en grados de aspecto de las imágenes de las muestras, a continuación se mencionan:

*Grado 5: no hay cambio visible.*

*Grado 4: variación de brillo.*

*Grado 3: grietas capilares de superficie y/o erosión de la superficie.*

*Grado 2: grietas en la superficie.*

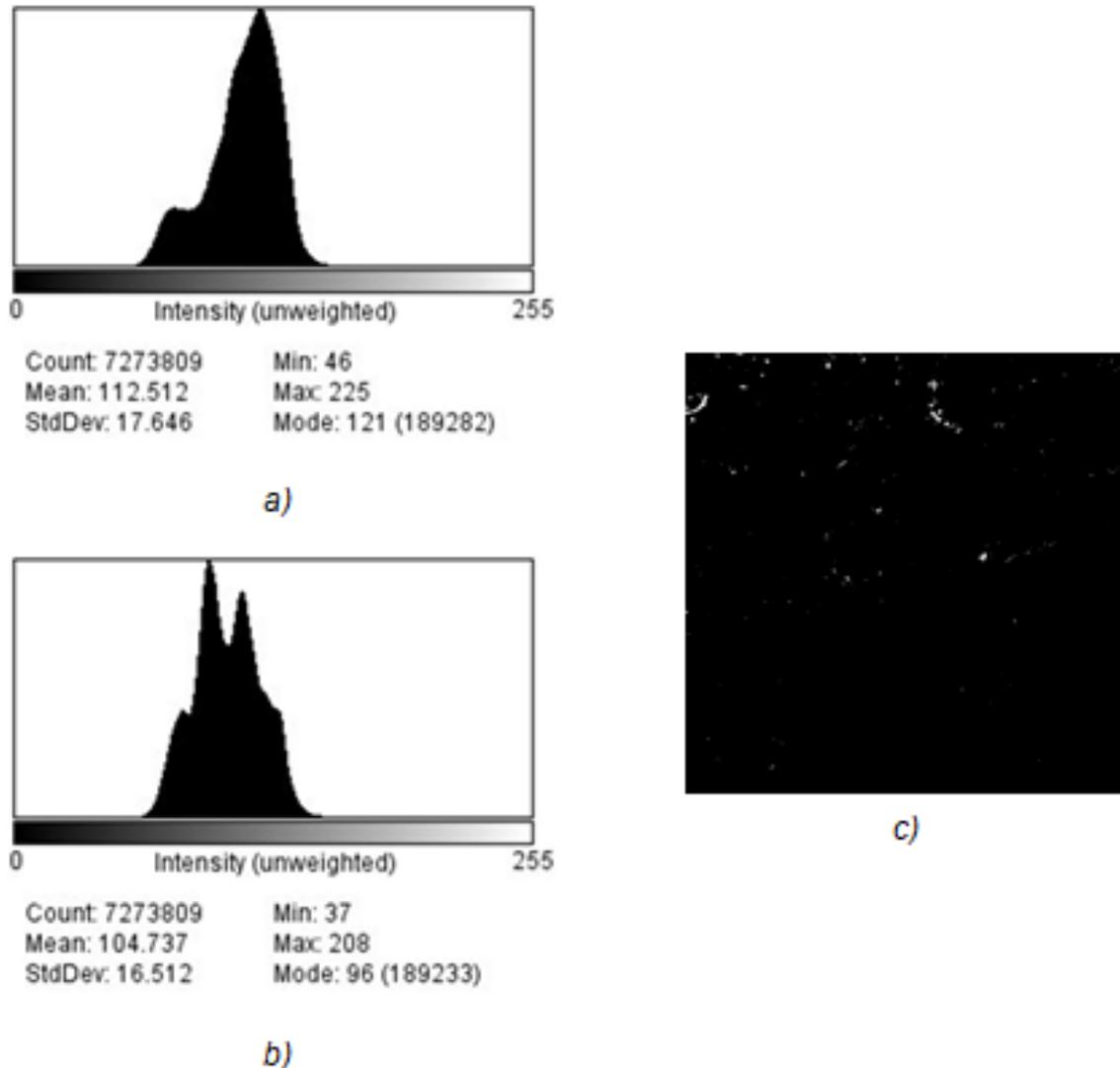
*Grado 1: formación de ampollas y deslaminaciones.*

Se capturan imágenes de las muestras a los 0, 45, 90, 135 y 180 días, representándolas en *tabla 4.2*.

*Tabla 4.2. Resultados de exposición de las muestras a temperatura, humedad relativa e intensidad de luz.*

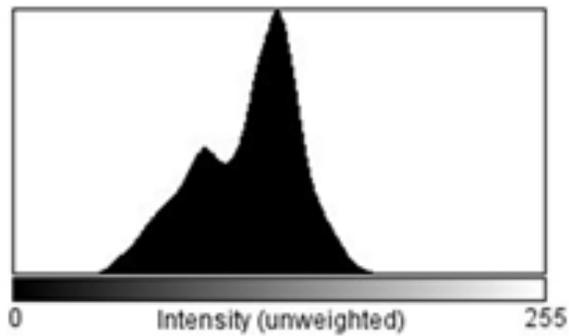
Muestra	Días				
	0	45	90	135	180
Panel de cemento 30-0.5%					
Panel de cemento 30-1.5%					
Panel de cemento 40-0.5%					
Panel de cemento 40-1.5%					
Panel comercial de cemento					

En las muestras de los paneles en la proporción 30-0.5%, se puede observar mediante histogramas de intensidad a los 0 y 180 días, que hay cambios de intensidad, sin embargo, no se presentan cavidades; con respecto a la imagen de la muestra a los 180 días, se llega a distinguir que la porosidad es casi nula, por tanto, se califica la muestra como grado 4 (*ver fig. 4.17*).



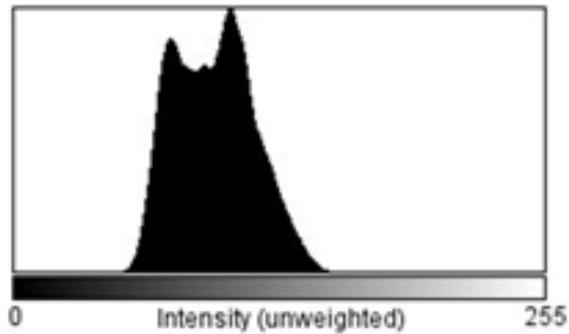
*Fig. 4.17. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 30-0.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 30-0.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 30-0.5%.*

En las muestras de los paneles en la proporción 30-1.5%, se puede observar mediante histogramas de intensidad a los 0 y 180 días, que hay cambios de intensidad, sin embargo, no se presentan cavidades; con respecto a imagen de la muestra a los 180 días, se llega a distinguir que la porosidad es casi nula, por tanto, se califica la muestra como grado 4 (ver fig. 4.18).



Count: 7273809	Min: 1
Mean: 112.285	Max: 253
StdDev: 25.088	Mode: 126 (149433)

a)



Count: 7273809	Min: 1
Mean: 95.940	Max: 253
StdDev: 19.474	Mode: 104 (143311)

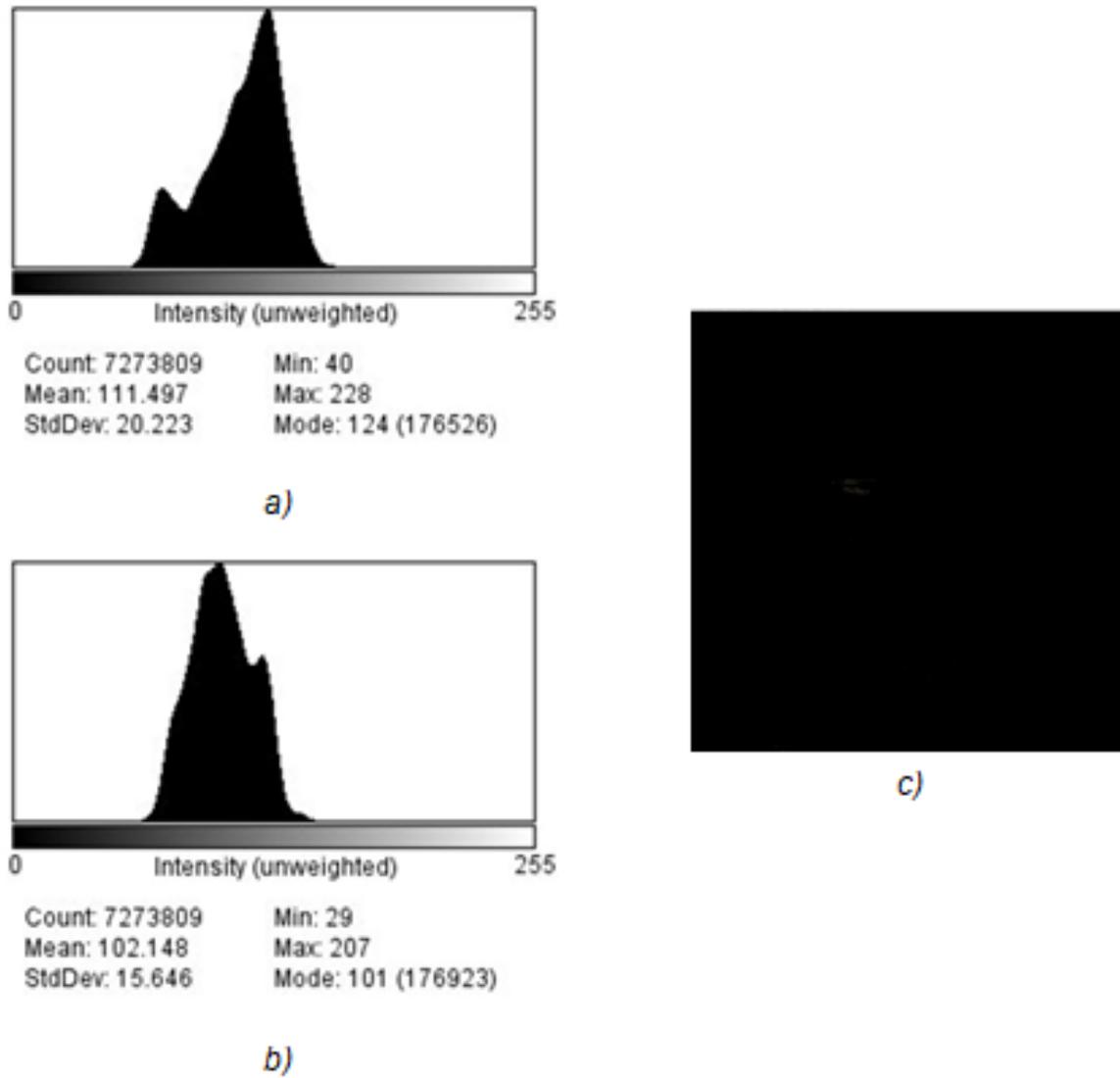
b)



c)

Fig. 4.18. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 30-1.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 30-1.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 30-1.5%.

En las muestras de los paneles en la proporción 40-0.5%, se puede observar mediante histogramas de intensidad a los 0 y 180 días, que hay cambios de intensidad, sin embargo, no se presentan cavidades; con respecto a imagen de la muestra a los 180 días, se llega a distinguir que la porosidad es nula, por tanto, se califica la muestra como grado 5 (ver fig. 4.19).



*Fig. 4.19. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 40-0.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 40-0.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 40-0.5%.*

En las muestras de los paneles en la proporción 40-1.5%, se puede observar mediante histogramas de intensidad a los 0 y 180 días, que hay cambios de intensidad, sin embargo, no se presentan cavidades; con respecto a imagen de la muestra a los 180 días, se llega a distinguir que la porosidad es casi nula, por tanto, se califica la muestra como grado 4 (ver fig. 4.20).

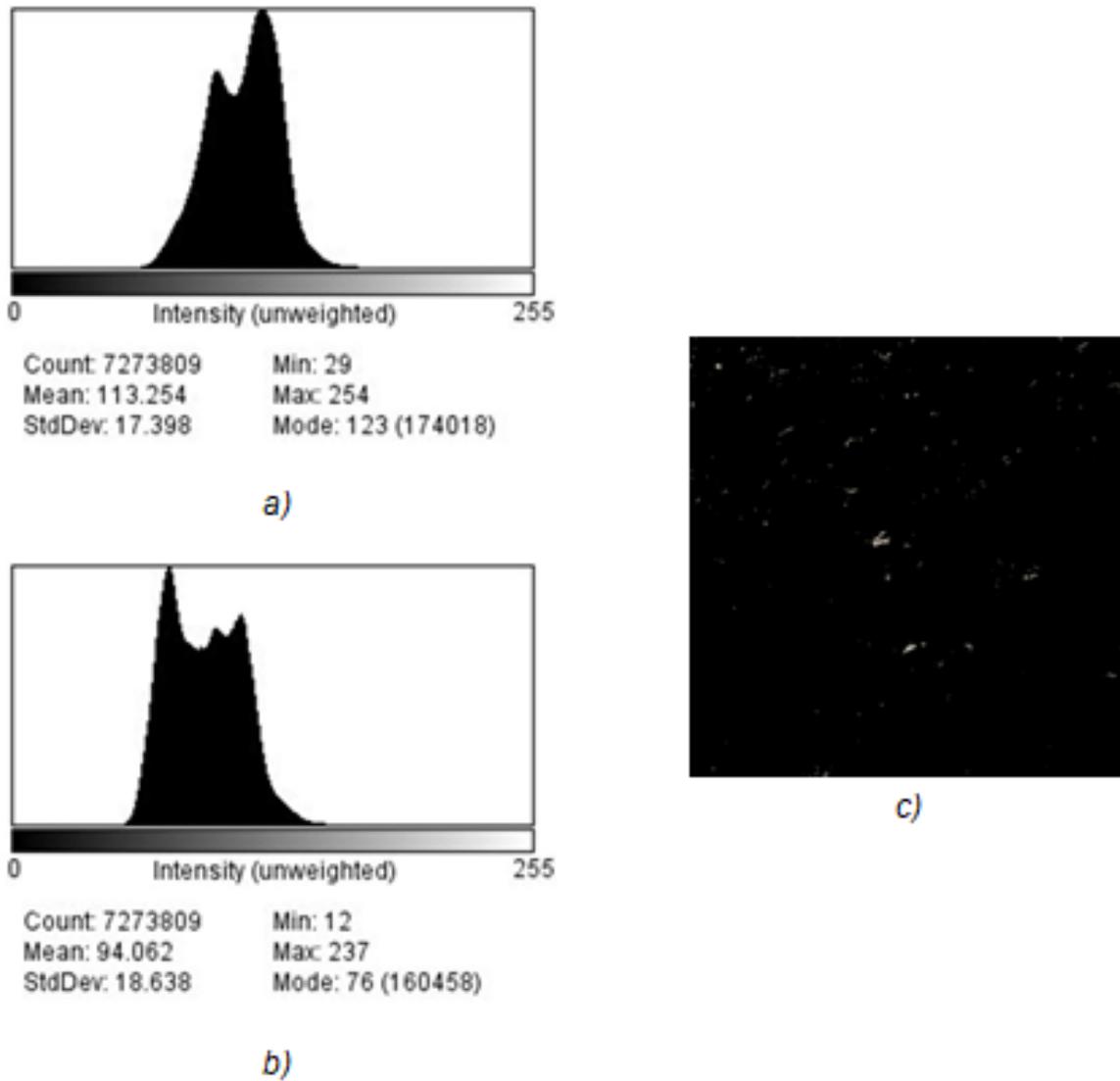


Fig. 4.20. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel 40-1.5%, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel 40-1.5% y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel 40-1.5%.

En las muestras de los paneles comerciales de cemento, se puede observar mediante histogramas de intensidad a los 0 y 180 días, que hay cambios de intensidad, existiendo cavidades; con respecto a imagen de la muestra a los 180 días, se llega a distinguir un aumento en la porosidad, por tanto, se califica la muestra como grado 3 (ver fig. 4.21).

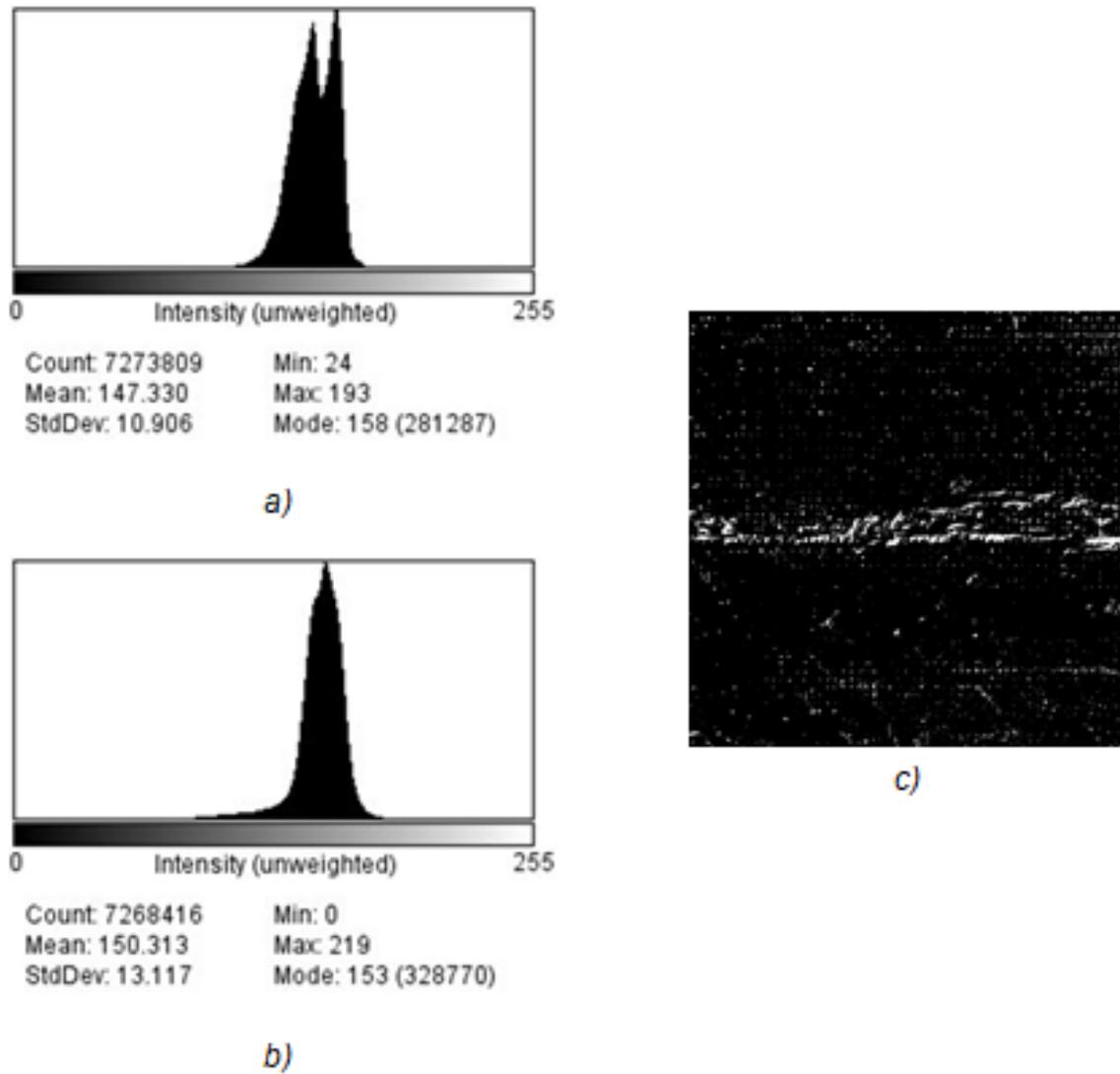


Fig. 4.21. a) Histograma de intensidad a los 0 días de muestra de panel comercial de cemento, b) Histograma de intensidad a los 180 días de muestra de panel comercial de cemento y c) Imagen de la muestra a los 180 días de panel comercial de cemento.

#### 4.1.8. Resumen de resultados de pruebas físico-mecánicas

Se reúnen en *tabla 4.3* los resultados obtenidos de pruebas físico-mecánicas en muestras correspondientes a las proporciones para la fabricación del panel de cemento y a panel comercial de cemento.

*Tabla 4.3. Resumen de resultados obtenidos de la realización de pruebas de laboratorio.*

<b>Características</b>	<b>Unidad</b>	<b>Panel 30-0.5% 6.35 mm</b>	<b>Panel 30-1.5% 6.35 mm</b>	<b>Panel 40-0.5% 6.35 mm</b>	<b>Panel 40-1.5% 6.25 mm</b>	<b>Panel de cemento comercial 12.70 mm</b>
<i>Peso</i>	kg/m <sup>2</sup>	13.43	13.43	12.05	12.83	12.30
<i>Densidad</i>	kg/m <sup>3</sup>	1,932.82	2,004.92	1,792.98	1,763.85	906.56
<i>Absorción</i>	%	1.67	1.94	1.28	1.30	17.90
<i>Compresión</i>	kg/cm <sup>2</sup>	246.88	254.08	353.36	332.88	84.56
<i>Flexión</i>	kg/cm <sup>2</sup>	116.10	103.03	168.59	164.81	84.30
<i>Deformación</i>	mm	12.93	15.10	23.33	19.00	38.01
<i>Conductividad térmica</i>	W/mK	0.42	0.47	0.40	0.36	0.22
<i>Convección térmica</i>	W/mK	0.43	0.39	0.40	0.46	0.43
<i>Resistencia a la intemperie</i>	Grado	4	4	5	4	3

En los apartados anteriores se tienen analizado cada una de las características físico-mecánicas de los paneles, analizándolos en conjunto, se observa que de acuerdo a las proporciones elaboradas, se obtuvo óptimos resultados en el panel de cemento 40%-0.5% en peso, absorción, compresión, flexión y resistencia a la intemperie con respecto al panel de cemento comercial.

#### 4.1.9. Características físico-mecánicas de paneles comerciales con características similares en el mercado

Se investigan datos técnicos de paneles que se comercializan en el extranjero con características similares al panel fabricado, en lo que se refiere a peso, densidad, absorción, compresión, flexión, deformación, conductividad térmica, convección térmica y resistencia a la intemperie, representándose en *tabla 4.4*.

*Tabla 4.4. Características físico-mecánicas de paneles que se comercializan en el extranjero con características similares.*

Características	Unidad	Panel de fibrocemento 8 mm	Panel laminado compacto de alta presión 8 mm	Panel de aluminio compuesto 4 mm	Panel fenólico 8mm	Panel de cerámica extruido alveolar 16 mm
<i>Peso</i>	kg/m <sup>2</sup>	14.90	11.20	5.47	11.20	28.50
<i>Densidad</i>	kg/m <sup>3</sup>	1,580.00	1,350.00	-	1,350.00	2,500.00
<i>Absorción</i>	%	-	0.05	-	5.00	6.00
<i>Compresión</i>	kg/cm <sup>2</sup>	-	-	-	-	-
<i>Flexión</i>	kg/cm <sup>2</sup>	326.30	1223.66	1264.45	815.77	-
<i>Deformación</i>	mm	-	-	-	-	-
<i>Conductividad térmica</i>	W/mK	0.39	0.30	5.54	0.27	-
<i>Convección térmica</i>	W/mK	-	-	-	-	-
<i>Resistencia a la intemperie</i>	Grado	4	4	-	3	-

Se obtiene como referencia un 50% de los datos técnicos de las características físico-mecánicas de los paneles que se comercializan en el extranjero con características similares, en las que se representan las cualidades de dichos paneles. Comparando los resultados con el panel de cemento –agregado fino - agua 5:1:1/4, fibra de polipropileno 0.5% y resina de poliéster insaturado 40%, en el cual,

se obtuvieron buenos resultados, se observa que el panel, se comporta de buena forma en cuanto a peso, densidad, absorción, conductividad térmica y resistencia a la intemperie. En donde, no se logra competir es a la flexión, aunque con el panel comercial de cemento se tiene un buen parámetro al resistir el 199.99%.

## 4.2. Análisis de costos

### 4.2.1. Cotización de costos

Se obtienen costos de los paneles fabricados de cemento en diversas proporciones en base a material, mano de obra, herramienta y equipo utilizados.

Descripción		Unidad		
Panel de cemento de 6.35 mm de espesor adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado (30-0.5%).		m <sup>2</sup>		
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
<b>Materiales</b>				
Resina	litro	4.50000	\$ 67.45	\$ 303.53
Fibra	kg	0.00750	\$ 184.61	\$ 1.38
Cemento	kg	9.62500	\$ 3.53	\$ 34.02
Polvo	m <sup>3</sup>	0.00175	\$ 215.52	\$ 0.38
Agua	m <sup>3</sup>	0.00263	\$ 11.18	\$ 0.03
<b>Subtotal de Materiales</b>				<b>\$ 339.34</b>
<b>Mano de Obra</b>				
2 Obreros	jor	0.10000	\$ 900.00	\$ 90.00
<b>Subtotal de Mano de obra</b>				<b>\$ 90.00</b>
<b>Herramienta y equipo</b>				
Factor de herramienta y equipo	%MO	0.05000	\$ 90.00	\$ 4.50
<b>Subtotal de Herramienta y equipo</b>				<b>\$ 4.50</b>

<b>Costo Directo</b>	<b>\$</b>	<b>433.84</b>
<b>20% de utilidad</b>	<b>\$</b>	<b>86.77</b>
<b>Subtotal</b>	<b>\$</b>	<b>520.60</b>
<b>IVA (16%)</b>	<b>\$</b>	<b>83.30</b>
<b>Total</b>	<b>\$</b>	<b>603.90</b>

Descripción	Unidad
Panel de cemento de 6.35 mm de espesor adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado (30-1.5%).	m <sup>2</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
-------------	--------	----------	-----	---------

***Materiales***

Resina	litro	4.50000	\$ 67.45	\$ 303.53
Fibra	kg	0.02250	\$ 184.61	\$ 4.15
Cemento	kg	9.62500	\$ 3.53	\$ 34.02
Polvo	m <sup>3</sup>	0.00175	\$ 215.52	\$ 0.38
Agua	m <sup>3</sup>	0.00263	\$ 11.18	\$ 0.03

**Subtotal de Materiales \$ 342.10**

***Mano de Obra***

2 Obreros	jor	0.10000	\$ 900.00	\$ 90.00
-----------	-----	---------	-----------	----------

**Subtotal de Mano de obra \$ 90.00**

***Herramienta y equipo***

Factor de herramienta y equipo	%MO	0.05000	\$ 90.00	\$ 4.50
--------------------------------	-----	---------	----------	---------

**Subtotal de Herramienta y equipo \$ 4.50**

<b>Costo Directo</b>	<b>\$</b>	<b>436.60</b>
<b>20% de utilidad</b>	<b>\$</b>	<b>87.32</b>
<b>Subtotal</b>	<b>\$</b>	<b>523.93</b>
<b>IVA (16%)</b>	<b>\$</b>	<b>83.83</b>
<b>Total</b>	<b>\$</b>	<b>607.75</b>

Descripción	Unidad
Panel de cemento de 6.35 mm de espesor adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado (40-0.5%).	m <sup>2</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
<b>Materiales</b>				
Resina	litro	6.00000	\$ 67.45	\$ 404.70
Fibra	kg	0.00750	\$ 184.61	\$ 1.38
Cemento	kg	8.25000	\$ 3.53	\$ 29.16
Polvo	m <sup>3</sup>	0.00150	\$ 215.52	\$ 0.32
Agua	m <sup>3</sup>	0.00225	\$ 11.18	\$ 0.03
<b>Subtotal de Materiales</b>				<b>\$ 435.59</b>
<b>Mano de Obra</b>				
2 Obreros	jor	0.10000	\$ 900.00	\$ 90.00
<b>Subtotal de Mano de obra</b>				<b>\$ 90.00</b>
<b>Herramienta y equipo</b>				
Factor de herramienta y equipo	%MO	0.05000	\$ 90.00	\$ 4.50
<b>Subtotal de Herramienta y equipo</b>				<b>\$ 4.50</b>
<b>Costo Directo</b>				<b>\$ 530.09</b>
<b>20% de utilidad</b>				<b>\$ 106.02</b>
<b>Subtotal</b>				<b>\$ 636.11</b>
<b>IVA (16%)</b>				<b>\$ 101.78</b>
<b>Total</b>				<b>\$ 737.89</b>

Descripción	Unidad
Panel de cemento de 6.35 mm de espesor adicionado con fibras de polipropileno y resina de poliéster insaturado (40-1.5%).	m <sup>2</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
-------------	--------	----------	-----	---------

**Materiales**

Resina	litro	6.00000	\$ 67.45	\$ 404.70
Fibra	kg	0.02250	\$ 184.61	\$ 4.15
Cemento	kg	8.25000	\$ 3.53	\$ 29.16
Polvo	m <sup>3</sup>	0.00150	\$ 215.52	\$ 0.32
Agua	m <sup>3</sup>	0.00225	\$ 11.18	\$ 0.03
<b>Subtotal de Materiales</b>				<b>\$ 438.36</b>

**Mano de Obra**

2 Obreros	jor	0.10000	\$ 900.00	\$ 90.00
<b>Subtotal de Mano de obra</b>				<b>\$ 90.00</b>

**Herramienta y equipo**

Factor de herramienta y equipo	%MO	0.05000	\$ 90.00	\$ 4.50
<b>Subtotal de Herramienta y equipo</b>				<b>\$ 4.50</b>

<b>Costo Directo</b>	<b>\$ 532.86</b>
<b>20% de utilidad</b>	<b>\$ 106.57</b>
<b>Subtotal</b>	<b>\$ 639.43</b>
<b>IVA (16%)</b>	<b>\$ 102.31</b>
<b>Total</b>	<b>\$ 741.74</b>

Se cotizan los siguientes paneles que se comercializan en el extranjero con características similares mediante vía online y telefónica.

Descripción	Unidad
Panel comercial de cemento de 12.7 mm de espesor, laminado con una malla de fibra de vidrio polimerizada en ambos lados.	m <sup>2</sup>

---

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
-------------	--------	----------	-----	---------

---

Panel de cemento de 12.7 mm de espesor	m <sup>2</sup>	1.00000	\$ 217.20	\$ 217.20
				<b>Subtotal \$ 217.20</b>
				<b>IVA (16%) \$ 34.75</b>
				<b>Total \$ 251.95</b>

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>			
Panel de fibrocemento de 10 mm de espesor. Incluye: costos de importación y traslado.	m <sup>2</sup>			

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
Panel de fibrocemento de 10 mm de espesor	m <sup>2</sup>	1.00000	\$ 1,521.00	\$ 1,521.00
				<b>Subtotal \$ 1,521.00</b>
				<b>IVA (16%) \$ 243.36</b>
				<b>Total \$ 1,764.36</b>

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>			
Panel laminado compacto de alta presión de 8 mm de espesor. Incluye: costos de importación y traslado.	m <sup>2</sup>			

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
Panel laminado compacto de 8 mm	m <sup>2</sup>	1.00000	\$ 1,781.52	\$ 1,781.52
				<b>Subtotal \$ 1,781.52</b>
				<b>IVA (16%) \$ 285.04</b>
				<b>Total \$ 2,066.56</b>

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>			
Panel de aluminio compuesto de 4 mm de espesor. Incluye: costos de importación y traslado.	m <sup>2</sup>			

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
Panel de aluminio compuesto de 4 mm de espesor	m <sup>2</sup>	1.00000	\$ 1,432.05	\$ 1,432.05
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 1,432.05</b>
			<b>IVA (16%)</b>	<b>\$ 229.13</b>
			<b>Total</b>	<b>\$ 1,661.18</b>

Descripción	Unidad
Panel fenólico de 8 mm de espesor. Incluye: costos de importación y traslado.	m <sup>2</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
Panel fenólico de 8 mm de espesor	m <sup>2</sup>	1.00000	\$ 3,570.00	\$ 3,570.00
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 3,570.00</b>
			<b>IVA (16%)</b>	<b>\$ 571.20</b>
			<b>Total</b>	<b>\$ 4,141.20</b>

Descripción	Unidad
Panel de cerámica extruido alveolar de 16 mm de espesor. Incluye: costos de importación y traslado.	m <sup>2</sup>

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U	Importe
Panel de cerámica de 16 mm de espesor	m <sup>2</sup>	1.00000	\$ 946.39	\$ 946.39
			<b>Subtotal</b>	<b>\$ 946.39</b>
			<b>IVA (16%)</b>	<b>\$ 151.42</b>
			<b>Total</b>	<b>\$ 1,097.81</b>

**4.2.2. Comparativo de costos**

Ya teniendo los costos de paneles con características similares en el mercado se comparan con el costo del panel realizado por m<sup>2</sup>, el panel de cemento comercial es más económico un 33.97% con respecto panel de cemento prefabricado en diferentes proporciones, mientras los paneles que se comercializan en el extranjero tienen un costo mucho mayor desde un 148.00% hasta un 558.30% con respecto al panel de cemento prefabricado en diferentes proporciones (ver fig. 4.22).

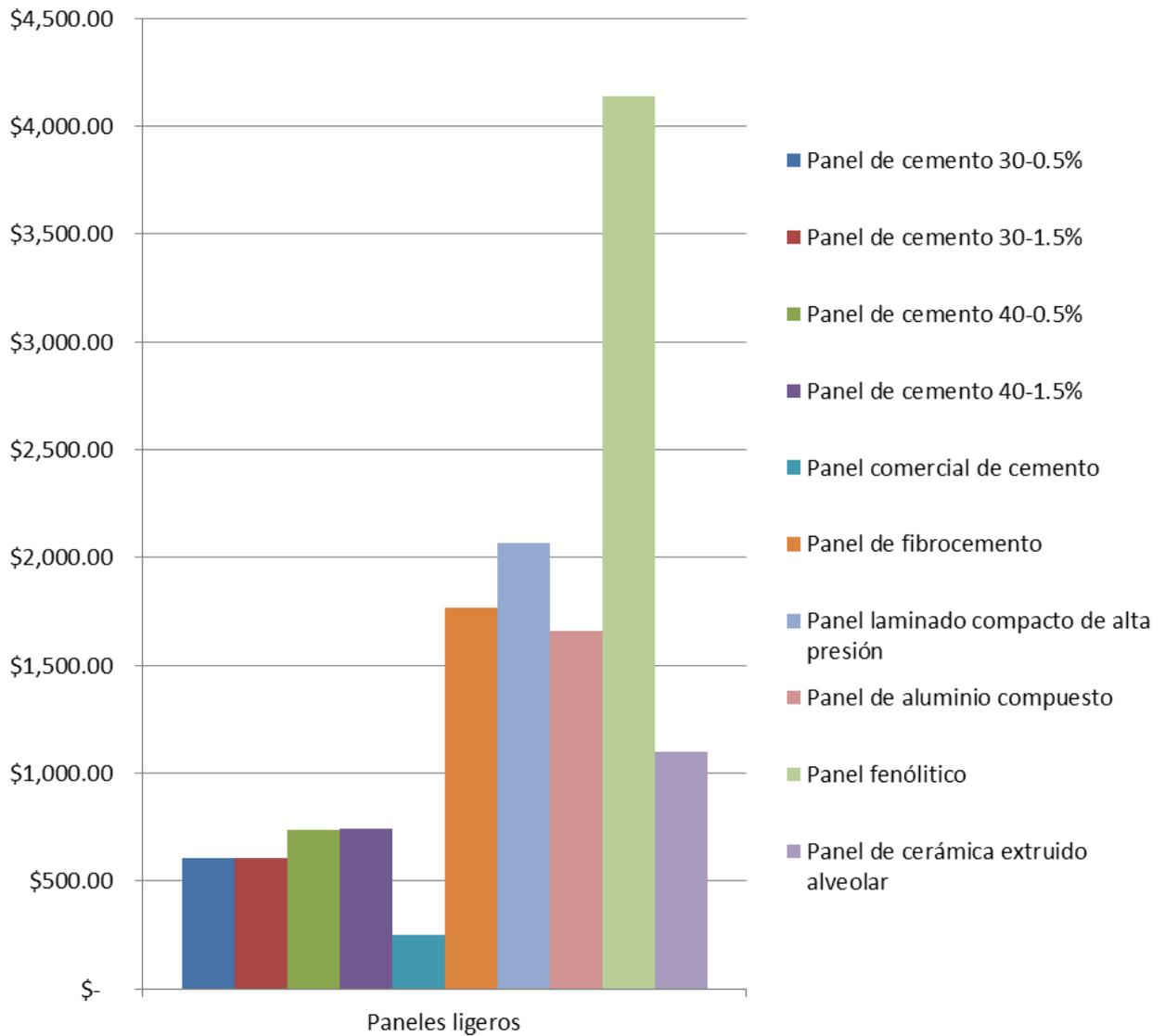


Fig. 4.22. Gráfica de costo de los paneles por m<sup>2</sup> (ver anexo G).

## Conclusiones

En base a los resultados obtenidos de las pruebas físico-mecánicas en muestras correspondientes a las proporciones para la fabricación del panel de cemento y a panel comercial de cemento (*ver tabla 4.3*), se concluye lo siguiente:

Se observa que de acuerdo a las proporciones elaboradas, se obtuvo óptimos resultados en peso, absorción, compresión, flexión y resistencia a la intemperie, por parte del panel de cemento 40-0.5% con respecto al panel de cemento comercial.

El panel de cemento 40-0.5% tiene el 197.78% de densidad con respecto al panel de cemento comercial, sin embargo, comparándolo por pieza es similar el peso ya que se considera un menor espesor.

La absorción de agua es de 1.28% en el panel de cemento 40-0.5%, en cambio, en el panel de cemento comercial la absorción es de 17.90%, comparándolos hay una diferencia en esta prueba del 16.62% debido a la porosidad del panel comercial de cemento.

En el panel de cemento 40-0.5% se determina la resistencia a compresión de 353.36 kg/cm<sup>2</sup>, en tanto, el panel de cemento comercial la resistencia a compresión es de 85.56 kg/cm<sup>2</sup>, comparándolos hay una diferencia en esta prueba del 417.88% debido a los vacíos del panel comercial de cemento.

El esfuerzo a flexión del panel de cemento 40-0.5% es de 168.59 kg/cm<sup>2</sup>, en cambio, el panel de cemento comercial tiene una resistencia a flexión de 85 kg/cm<sup>2</sup>, comparándolos hay una diferencia en esta prueba del 199.99% debido a los vacíos del panel comercial de cemento.

La temperatura, humedad relativa e intensidad de luz, al medirse en un periodo de 180 días en la cámara climática permitió medir la capacidad del panel a estudiar para

probar su resistencia a la intemperie, siendo satisfactorios los resultados para los paneles en la proporción 30-0.5%, 30-1.5% y 40-1.5%, debido a que no hay cavidades, con respecto a imagen de la muestra a los 180 días se llega a distinguir una porosidad casi nula, calificándolos como grado 4; en el panel en la proporción 40-0.5% los resultados fueron estupendos debido a que no hubo cavidades, ni porosidad, calificándolo como grado 5; con respecto al panel comercial de cemento aumento el contenido de poros y a simple vista se percibió la degradación en él, calificándolo como grado 3.

Los resultados de conductividad y convección térmica fueron similares en los paneles de cemento fabricado en diversas proporciones y el panel comercial de cemento, sin embargo, la conductividad y convección térmica en los paneles debe ser mucho menor, resultando no térmicos los paneles en estudio, es necesario complementarlos con aislantes térmicos en caso de que se requiera un mayor confort térmico.

Se comparan datos técnicos de paneles que se comercializan en el extranjero con características similares al panel de cemento 40-0.5% (*ver tabla 4.3 y 4.4*), en lo que se refiere a peso, densidad, absorción, compresión, flexión, deformación, conductividad térmica, convección térmica y resistencia a la intemperie, obteniendo buenos resultados en cuanto a peso, densidad, absorción, conductividad térmica y resistencia a la intemperie. En donde, no se logra competir es a la flexión, aunque con el panel comercial de cemento se tiene un buen parámetro al resistir el 197.78%.

En cuanto a costos, el panel de cemento comercial es más económico un 33.97% que el panel de cemento prefabricado en diferentes proporciones, mientras los paneles que se comercializan en el extranjero tienen un costo mucho mayor desde un 148.00% hasta un 558.30% con respecto al panel de cemento prefabricado en diferentes proporciones (*ver fig. 4.22*).

Se concluye que el panel de cemento desarrollado no es competitivo en costo con panel comercial de cemento debido a que no se elaboró con la intención de

desplazarlo del mercado, sino para tener un parámetro de los paneles en cuanto a características físico-mecánicas, pero a cambio, es competitivo en costo y características físico-mecánicas con los paneles que se comercializan en el extranjero, las que se podrían mejorar y profundizar más para su estudio.

## Recomendaciones

Es muy importante señalar que a pesar de poseer un proceso de fabricación del panel de cemento en estudio, aún se desarrolló a nivel de laboratorio, por lo que muchas variables no se contemplaron en la realización del panel a nivel fábrica para eficientar el proceso de fabricación con equipo tecnológico.

El panel de cemento en estudio tiene un gran potencial, pero cabe recalcar que se puede seguir mejorando para reunir mejores características ya sea físicas, mecánicas y económicas, así como, adicionar un proceso de instalación y elaborar un manual técnico.

Como recomendación final es realizar un plan de negocios a través de fuentes de financiamiento y poder hacerlo atractivo a inversionistas. Altamente recomendable sería estudiar las alternativas de inversión que pueden ser viables para este proyecto y realizar la proyección de flujo efectivo específicamente en cada caso para observar cual es la versión más rentable.

## Bibliografía

- [1] I. de Obeso Partida, Tesis, Evaluación de viabilidad para la fabricación, análisis de sustentabilidad y comportamiento estructural de paneles con plásticos reciclados, (2018) 0-148.
- [2] K. Wu, D. Zhang, Composite Materials Engineering, Cement-based composite materials, 2 (2018) 489-529.
- [3] S. Gupta, H. W. Kua, S. Pang, Magazine of Concrete Research, Combination of polypropylene fibre and superabsorbent polymer to improve physical properties of cement mortar, (2017) 1-15.
- [4] M. Paul, P. Ravikumar, International Journal of Engineering Science and Computing, Review on development of polymer mortar composite, 6 (2016) 7945-7948.
- [5] S. Alsadey, International Journal of Energy Science and Engineering, Effect of polypropylene fiber on properties of mortar, 2 (2016) 8-12.
- [6] P. Matthey, R. Robayo, J. Torres, P. Ramos, S. Delvasto, Informador Técnico, Evaluación de las propiedades de ferrocemento con agregado fino reciclado, 79 (2015) 146-155.
- [7] C. Vásquez, A. Prieto, Cuadernillo, ARQ, La fachada ventilada, 84 (2013) 6-9.
- [8] M. Alba, M. Marrero, C. Leiva, M. Montes, L. Vilches, Informes de Construcción, Empleo de paneles compuestos por subproductos de centrales térmicas en fachadas trasdosadas, 64 (2012) 179-190.
- [9] A. Abdullah, S. Jamaludin, M. Anwar, M. Noor, K. Hussin, Physics Procedia, Assessment of physical and mechanical properties of cement panel influenced by treated and untreated coconut fiber addition, 22 (2011) 263-269.
- [10] J. Domínguez, D. Güemes, Revista Académica de la FI-UADY, Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik), 14 (2010) 191-195.
- [11] R. Kalyankar, Tesis, Natural fiber reinforced structural insulated panels for panelized construction, (2009) 0-72.

- [12] A. Vaidya, Tesis, Lightweight composites for modular panelized construction, (2009) 0-155.
- [13] J. Byung-Wan, P. Seung-Kook, P. Jong-Chil, Construction and Building Materials, Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates, 22 (2008) 2281-2291.
- [14] A. Bentur, S. Mindess, Libro, Fibre reinforced cementitious Composites, (2006) 1-602.
- [15] C. Galán, Tesis, Caracterización de un mortero polimérico con resina de poliéster insaturado y árido de albero para su aplicación en la construcción, (2001) 0-252.
- [16] F. Puertas, T. Amat, T. Vázquez, Materiales de Construcción, Comportamiento de morteros de cementos alcalinos reforzados con fibras acrílicas y de polipropileno, 50 (2000) 69-84.
- [17] E. González, Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Materiales y diseño bioclimático, (1997) 1-20.
- [18] P. Shah, C. Ouyang, Journal Of The American Ceramic Society, Mechanical behavior of fiber-reinforced cement-based composites, 74 (1991) 2727-2853.

# **Anexos**

## Anexos

### Anexo A. Tablas de resultados de peso y densidad de las muestras

A.1. Tabla de resultados de peso y densidad de muestras del panel de cemento en proporción 30-0.5%.

Panel	Medidas			Volumen m <sup>3</sup>	Peso Seco kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>
	Lado cm	Lado cm	Espesor cm			
30-0.5-1	20.00	19.90	0.70	0.0002786	0.519	1862.89
30-0.5-2	20.00	19.80	0.70	0.0002772	0.520	1875.90
30-0.5-3	20.00	19.90	0.70	0.0002786	0.532	1909.55
30-0.5-4	20.00	20.10	0.70	0.0002814	0.566	2011.37
30-0.5-5	20.00	19.60	0.70	0.0002744	0.550	2004.37
				Promedio	0.537	1932.82

A.2. Tabla de resultados de peso y densidad de muestras del panel de cemento en proporción 30-1.5%.

Panel	Medidas			Volumen m <sup>3</sup>	Peso Seco kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>
	Lado cm	Lado cm	Espesor cm			
30-1.5-1	20.00	19.80	0.70	0.0002772	0.548	1976.91
30-1.5-2	20.00	19.80	0.64	0.0002515	0.527	2095.76
30-1.5-3	20.00	19.90	0.64	0.0002527	0.524	2073.36
30-1.5-4	20.00	20.00	0.70	0.0002800	0.546	1950.00
30-1.5-5	20.00	20.00	0.70	0.0002800	0.540	1928.57
				Promedio	0.537	2004.92

A.3. Tabla de resultados de peso y densidad de muestras del panel de cemento en proporción 40-0.5%.

Panel	Medidas			Volumen m <sup>3</sup>	Peso Seco kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>
	Lado cm	Lado cm	Espesor cm			

40-0.5-1	20.00	19.70	0.70	0.0002758	0.458	1660.62
40-0.5-2	20.00	19.90	0.70	0.0002786	0.505	1812.63
40-0.5-3	20.00	19.80	0.64	0.0002515	0.460	1829.32
40-0.5-4	23.00	19.60	0.64	0.0002863	0.486	1697.77
40-0.5-5	20.00	20.00	0.64	0.0002540	0.499	1964.57
				Promedio	0.482	1792.98

A.4. Tabla de resultados de peso y densidad de muestras del panel de cemento en proporción 40-1.5%.

Panel	Medidas			Volumen m <sup>3</sup>	Peso Seco kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>
	Lado cm	Lado cm	Espesor cm			
40-1.5-1	20.00	19.90	0.64	0.0002527	0.498	1970.48
40-1.5-2	22.00	20.00	0.64	0.0002794	0.496	1775.23
40-1.5-3	20.00	20.00	0.80	0.0003200	0.527	1646.88
40-1.5-4	23.00	19.90	0.64	0.0002906	0.484	1665.29
40-1.5-5	20.00	19.80	0.80	0.0003168	0.558	1761.36
				Promedio	0.513	1763.85

A.5. Tabla de resultados de peso y densidad de muestras del panel comercial de cemento.

Panel Comercial	Medidas			Volumen m <sup>3</sup>	Peso Seco kg	Densidad kg/m <sup>3</sup>
	Lado cm	Lado cm	Espesor cm			
1-1	22.00	20.00	1.20	0.0005280	0.513	971.59
1-2	22.00	20.00	1.15	0.0005060	0.498	984.19
1-3	23.00	20.00	1.15	0.0005290	0.487	920.60
1-4	23.00	23.00	1.15	0.0006084	0.471	774.23
1-5	21.00	23.00	1.15	0.0005555	0.490	882.17
				Promedio	0.492	906.56

## Anexo B. Tablas de resultados del porcentaje de absorción de las muestras

B.1. Tabla de resultados de porcentaje del absorción de las muestras del panel de cemento en proporción 30-0.5%.

Panel	Peso seco gramos	Peso saturado gramos	Absorción %
30-0.5-1	519	530	2.12
30-0.5-2	520	528	1.54
30-0.5-3	532	539	1.32
30-0.5-4	566	577	1.94
30-0.5-5	550	558	1.45
Promedio	537.40	546.40	1.67

B.2. Tabla de resultados del porcentaje de absorción de las muestras del panel de cemento en proporción 30-1.5%.

Panel	Peso seco gramos	Peso saturado gramos	Absorción %
30-1.5-1	548	558	1.82
30-1.5-2	527	536	1.71
30-1.5-3	524	535	2.10
30-1.5-4	546	557	2.01
30-1.5-5	540	551	2.04
Promedio	537.00	547.40	1.94

B.3. Tabla de resultados del porcentaje de absorción de las muestras del panel de cemento en proporción 40-0.5%.

Panel	Peso seco gramos	Peso saturado gramos	Absorción %
40-0.5-1	458	463	1.09
40-0.5-2	505	512	1.39

40-0.5-3	460	466	1.30
40-0.5-4	486	493	1.44
40-0.5-5	499	505	1.20
Promedio	481.60	487.80	1.28

B.4. Tabla de resultados del porcentaje de absorción de las muestras del panel de cemento en proporción 40-1.5%.

Panel	Peso seco gramos	Peso saturado gramos	Absorción %
40-1.5-1	498	504	1.20
40-1.5-2	496	502	1.21
40-1.5-3	527	532	0.95
40-1.5-4	484	493	1.86
40-1.5-5	558	565	1.25
Promedio	512.60	519.20	1.30

B.5. Tabla de resultados del porcentaje de absorción de las muestras del panel comercial de cemento.

Panel Comercial	Peso seco gramos	Peso saturado gramos	Absorción %
1-1	513	604	17.74
1-2	498	585	17.47
1-3	487	576	18.28
1-4	471	557	18.26
1-5	490	577	17.76
Promedio	491.80	579.80	17.90

### Anexo C. Tablas de resultados de compresión de las muestras

C.1. Tabla de resultados de compresión de las muestras del panel de cemento en proporción 30-0.5%.

Panel	Medidas			Volumen cm <sup>3</sup>	Área cm <sup>2</sup>	Carga kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	L cm	L cm	L cm				
30-0.5-1	5	5	5	125.00	25.00	5910.00	236.40
30-0.5-2	5	5	5	125.00	25.00	6170.00	246.80
30-0.5-3	5	5	5	125.00	25.00	6010.00	240.40
30-0.5-4	5	5	5	125.00	25.00	6620.00	264.80
30-0.5-5	5	5	5	125.00	25.00	6150.00	246.00
						Promedio	246.88

C.2. Tabla de resultados de compresión de las muestras del panel de cemento en proporción 30-1.5%.

Panel	Medidas			Volumen cm <sup>3</sup>	Área cm <sup>2</sup>	Carga kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	L cm	L cm	L cm				
30-1.5-1	5	5	5	125.00	25.00	6070.00	242.80
30-1.5-2	5	5	5	125.00	25.00	6660.00	266.40
30-1.5-3	5	5	5	125.00	25.00	6880.00	275.20
30-1.5-4	5	5	5	125.00	25.00	5960.00	238.40
30-1.5-5	5	5	5	125.00	25.00	6190.00	247.60
						Promedio	254.08

C.3. Tabla de resultados de compresión de las muestras del panel de cemento en proporción 40-0.5%.

Panel	Medidas			Volumen cm <sup>3</sup>	Área cm <sup>2</sup>	Carga kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	L cm	L cm	L cm				
40-0.5-1	5	5	5	125.00	25.00	8290.00	331.60
40-0.5-2	5	5	5	125.00	25.00	8800.00	352.00

40-0.5-3	5	5	5	125.00	25.00	9200.00	368.00
40-0.5-4	5	5	5	125.00	25.00	8710.00	348.40
40-0.5-5	5	5	5	125.00	25.00	9170.00	366.80
						Promedio	353.36

C.4. Tabla de resultados de compresión de las muestras del panel de cemento en proporción 40-1.5%.

Panel	Medidas			Volumen cm <sup>3</sup>	Área cm <sup>2</sup>	Carga kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	L cm	L cm	L cm				
40-1.5-1	5	5	5	125.00	25.00	8710.00	348.40
40-1.5-2	5	5	5	125.00	25.00	8270.00	330.80
40-1.5-3	5	5	5	125.00	25.00	8310.00	332.40
40-1.5-4	5	5	5	125.00	25.00	8150.00	326.00
40-1.5-5	5	5	5	125.00	25.00	8170.00	326.80
						Promedio	332.88

C.5. Tabla de resultados de compresión de muestras de panel comercial de cemento.

Panel Comercial	Medidas			Volumen cm <sup>3</sup>	Área cm <sup>2</sup>	Carga kg	Esfuerzo kg/cm <sup>2</sup>
	L cm	L cm	L cm				
1-1	5	5	5	125.00	25.00	2130.00	85.20
1-2	5	5	5	125.00	25.00	2100.00	84.00
1-3	5	5	5	125.00	25.00	1990.00	79.60
1-4	5	5	5	125.00	25.00	2280.00	91.20
1-5	5	5	5	125.00	25.00	2070.00	82.80
						Promedio	84.56

### Anexo D. Tablas de resultados de cargas y deformaciones de las muestras

D.1. Tabla de resultados de cargas y deformaciones de muestras en panel de cemento con proporción 30-0.5%.

Carga	Deformación 30-0.5-1	Deformación 30-0.5-2	Deformación 30-0.5-3	Deformación 30-0.5-4	Deformación 30-0.5-5
kg	mm	mm	mm	mm	mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.55	0.57	0.52	0.50	0.53
2.00	1.10	1.14	1.04	1.00	1.06
3.00	1.65	1.71	1.56	1.50	1.59
4.00	2.20	2.28	2.08	2.00	2.12
5.00	2.75	2.85	2.60	2.50	2.65
6.00	3.35	3.53	3.18	3.05	3.23
7.00	3.95	4.21	3.76	3.60	3.81
8.00	4.55	4.89	4.34	4.15	4.39
9.00	5.15	5.57	4.92	4.70	4.97
10.00	5.75	6.25	5.50	5.25	5.55
11.00	6.40	6.98	6.12	5.85	6.18
12.00	7.05	7.71	6.74	6.45	6.81
13.00	7.70	8.44	7.36	7.05	7.44
14.00	8.35	9.17	7.98	7.65	8.07
15.00	9.00	9.90	8.60	8.25	8.70
16.00	9.73	10.68	9.25	8.90	9.40
17.00	10.46	11.46	9.90	9.55	10.10
18.00	11.19	12.24	10.55	10.20	10.80
19.00	11.92	13.02	11.20	10.85	11.50
20.00	12.65	13.80	11.85		12.20
21.00	13.38		12.50		12.90

D.2. Tabla de resultados de cargas y deformaciones de muestras en panel de cemento con proporción 30-1.5%.

Carga	Deformación	Deformación	Deformación	Deformación	Deformación
-------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

	30-1.5-1	30-1.5-2	30-1.5-3	30-1.5-4	30-1.5-5
kg	mm	mm	mm	mm	mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.65	0.57	0.64	0.68	0.64
2.00	1.30	1.14	1.28	1.36	1.28
3.00	1.95	1.71	1.92	2.04	1.92
4.00	2.60	2.28	2.56	2.72	2.56
5.00	3.25	2.85	3.20	3.40	3.20
6.00	4.05	3.60	4.00	4.20	4.00
7.00	4.85	4.35	4.80	5.00	4.80
8.00	5.65	5.10	5.60	5.80	5.60
9.00	6.45	5.85	6.40	6.60	6.40
10.00	7.25	6.60	7.20	7.40	7.20
11.00	8.27	7.60	8.10	8.40	8.12
12.00	9.29	8.60	9.00	9.40	9.04
13.00	10.31	9.60	9.90	10.40	9.96
14.00	11.33	10.60	10.80	11.40	10.88
15.00	12.35	11.60	11.70	12.40	11.80
16.00	13.37	12.60	12.60	13.40	12.72
17.00	14.39	13.60	13.50	14.40	13.64
18.00	15.41	14.60	14.40		14.56
19.00			15.30		15.48

D.3. Tabla de resultados de cargas y deformaciones de muestras en panel de cemento con proporción 40-0.5%.

Carga	Deformación	Deformación	Deformación	Deformación	Deformación
kg	40-0.5-1	40-0.5-2	40-0.5-3	40-0.5-4	40-0.5-5
kg	mm	mm	mm	mm	mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.90	0.83	0.86	0.78	0.84
2.00	1.80	1.66	1.72	1.56	1.68
3.00	2.70	2.49	2.58	2.34	2.52
4.00	3.60	3.32	3.44	3.12	3.36

---

5.00	4.50	4.15	4.30	3.90	4.20
6.00	5.40	4.98	5.16	4.68	5.04
7.00	6.30	5.81	6.02	5.46	5.88
8.00	7.20	6.64	6.88	6.24	6.72
9.00	8.10	7.47	7.74	7.02	7.56
10.00	9.00	8.30	8.60	7.80	8.40
11.00	9.83	9.00	9.33	8.54	9.18
12.00	10.66	9.70	10.06	9.28	9.96
13.00	11.49	10.40	10.79	10.02	10.74
14.00	12.32	11.10	11.52	10.76	11.52
15.00	13.15	11.80	12.25	11.50	12.30
16.00	13.98	12.50	12.98	12.24	13.08
17.00	14.81	13.20	13.71	12.98	13.86
18.00	15.64	13.90	14.44	13.72	14.64
19.00	16.47	14.60	15.17	14.46	15.42
20.00	17.30	15.30	15.90	15.20	16.20
21.00	18.06	15.90	16.50	15.85	16.92
22.00	18.82	16.50	17.10	16.50	17.64
23.00	19.58	17.10	17.70	17.15	18.36
24.00	20.34	17.70	18.30	17.80	19.08
25.00	21.10	18.30	18.90	18.45	19.80
26.00	21.86	18.90	19.50	19.10	20.52
27.00	22.62	19.50	20.10	19.75	21.24
28.00	23.38	20.10	20.70	20.40	21.96
29.00	24.14	20.70	21.30	21.05	22.68
30.00	24.90	21.30	21.90	21.70	23.40
31.00			22.45		
32.00			23.00		
33.00			23.55		
34.00			24.10		
35.00			24.65		
36.00			25.20		
37.00			25.75		
38.00			26.30		

---

39.00	26.85
40.00	27.40
41.00	27.95

D.4. Tabla de resultados de cargas y deformaciones de muestras en panel de cemento con proporción 40-1.5%.

Carga kg	Deformación 40-1.5-1 mm	Deformación 40-1.5-2 mm	Deformación 40-1.5-3 mm	Deformación 40-1.5-4 mm	Deformación 40-1.5-5 mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.80	0.74	0.88	0.70	0.78
2.00	1.60	1.48	1.76	1.40	1.56
3.00	2.40	2.22	2.64	2.10	2.34
4.00	3.20	2.96	3.52	2.80	3.12
5.00	4.00	3.70	4.40	3.50	3.90
6.00	4.80	4.44	5.28	4.20	4.68
7.00	5.60	5.18	6.16	4.90	5.46
8.00	6.40	5.92	7.04	5.60	6.24
9.00	7.20	6.66	7.92	6.30	7.02
10.00	8.00	7.40	8.80	7.00	7.80
11.00	8.62	8.05	9.58	7.62	8.40
12.00	9.24	8.70	10.36	8.24	9.00
13.00	9.86	9.35	11.14	8.86	9.60
14.00	10.48	10.00	11.92	9.48	10.20
15.00	11.10	10.65	12.70	10.10	10.80
16.00	11.72	11.30	13.48	10.72	11.40
17.00	12.34	11.95	14.26	11.34	12.00
18.00	12.96	12.60	15.04	11.96	12.60
19.00	13.58	13.25	15.82	12.58	13.20
20.00	14.20	13.90	16.60	13.20	13.80
21.00	14.66	14.44	17.26	13.77	14.28
22.00	15.12	14.98	17.92	14.34	14.76
23.00	15.58	15.52	18.58	14.91	15.24

24.00	16.04	16.06	19.24	15.48	15.72
25.00	16.50	16.60	19.90	16.05	16.20
26.00	16.96	17.14	20.56	16.62	16.68
27.00	17.42	17.68	21.22	17.19	17.16
28.00	17.88	18.22	21.88	17.76	17.64
29.00	18.34	18.76		18.33	
30.00	18.80	19.30		18.90	

D.5. Tabla de resultados de cargas y deformaciones de muestras en panel comercial de cemento.

Carga kg	Deformación	Deformación	Deformación	Deformación	Deformación
	1-1 mm	1-2 mm	1-3 mm	1-4 mm	1-5 mm
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.65	0.58	0.73	0.62	0.67
2.00	1.30	1.16	1.46	1.24	1.34
3.00	1.95	1.74	2.19	1.86	2.01
4.00	2.60	2.32	2.92	2.48	2.68
5.00	3.25	2.90	3.65	3.10	3.35
6.00	3.90	3.48	4.38	3.72	4.02
7.00	4.55	4.06	5.11	4.34	4.69
8.00	5.20	4.64	5.84	4.96	5.36
9.00	5.85	5.22	6.57	5.58	6.03
10.00	6.50	5.80	7.30	6.20	6.70
11.00	7.10	6.35	7.98	6.79	7.34
12.00	7.70	6.90	8.66	7.38	7.98
13.00	8.30	7.45	9.34	7.97	8.62
14.00	8.90	8.00	10.02	8.56	9.26
15.00	9.50	8.55	10.70	9.15	9.90
16.00	10.10	9.10	11.38	9.74	10.54
17.00	10.70	9.65	12.06	10.33	11.18
18.00	11.30	10.20	12.74	10.92	11.82
19.00	11.90	10.75	13.42	11.51	12.46

---

20.00	12.50	11.30	14.10	12.10	13.10
21.00	13.04	11.83	14.74	12.65	13.70
22.00	13.58	12.36	15.38	13.20	14.30
23.00	14.12	12.89	16.02	13.75	14.90
24.00	14.66	13.42	16.66	14.30	15.50
25.00	15.20	13.95	17.30	14.85	16.10
26.00	15.74	14.48	17.94	15.40	16.70
27.00	16.28	15.01	18.58	15.95	17.30
28.00	16.82	15.54	19.22	16.50	17.90
29.00	17.36	16.07	19.86	17.05	18.50
30.00	17.90	16.60	20.50	17.60	19.10
31.00	18.39	17.19	21.02	18.13	19.65
32.00	18.88	17.78	21.54	18.66	20.20
33.00	19.37	18.37	22.06	19.19	20.75
34.00	19.86	18.96	22.58	19.72	21.30
35.00	20.35	19.55	23.10	20.25	21.85
36.00	20.84	20.14	23.62	20.78	22.40
37.00	21.33	20.73	24.14	21.31	22.95
38.00	21.82	21.32	24.66	21.84	23.50
39.00	22.31	21.91	25.18	22.37	24.05
40.00	22.80	22.50	25.70	22.90	24.60
41.00	23.25	23.15	26.28	23.39	25.12
42.00	23.70	23.80	26.86	23.88	25.64
43.00	24.15	24.45	27.44	24.37	26.16
44.00	24.60	25.10	28.02	24.86	26.68
45.00	25.05	25.75	28.60	25.35	27.20
46.00	25.50	26.40	29.18	25.84	27.72
47.00	25.95	27.05	29.76	26.33	28.24
48.00	26.40	27.70	30.34	26.82	28.90
49.00	26.85	28.35	30.92	27.31	29.50
50.00	27.30	29.00	31.50	27.80	30.02
51.00	28.10	29.78	32.21	28.25	30.88
52.00	28.90	30.56	32.92	28.70	31.74
53.00	29.70	31.34	33.63	29.15	32.60

---

---

54.00	30.50	32.12	34.34	29.60	33.46
55.00	31.30	32.90	35.05	30.05	34.32
56.00	32.10	33.68	35.76	30.45	35.18
57.00	32.90	34.46	36.47	30.90	36.04
58.00	33.70	35.24	37.18	31.35	36.90
59.00	34.50	36.02	37.89	32.00	37.76
60.00	35.30	36.80	38.60	32.70	38.62
61.00				33.90	
62.00				35.50	
63.00				37.00	
64.00				38.60	

---

**Anexo E. Tabla de resultados de conductividad térmica de las muestras**

---

Muestra	1	2	3	4	5
	W/mk	W/mk	W/mk	W/mk	W/mk
Panel 30-0.5	0.352	0.499	0.395	0.431	0.407
Panel 30-1.5	0.488	0.503	0.530	0.348	0.494
Panel 40-0.5	0.405	0.406	0.381	0.405	0.384
Panel 40-1.5	0.335	0.328	0.384	0.401	0.378
Panel Comercial	0.210	0.256	0.222	0.213	0.218

---

**Anexo F. Tabla de resultados de convección térmica de las muestras**

---

Muestra	1	2	3	4	5
	W/mk	W/mk	W/mk	W/mk	W/mk
Panel 30-0.5	0.397	0.356	0.386	0.390	0.619
Panel 30-1.5	0.330	0.372	0.427	0.400	0.409
Panel 40-0.5	0.532	0.354	0.395	0.345	0.379
Panel 40-1.5	0.582	0.323	0.374	0.350	0.686
Panel Comercial	0.373	0.385	0.447	0.352	0.576

---

**Anexo G. Tabla de resumen de precios por m<sup>2</sup> de paneles**

Tipo de Panel	Espesor	Origen	P.U. /m <sup>2</sup>
Panel de cemento 30-0.5%	6.35 mm	ITChetumal	\$ 603.90
Panel de cemento 30-1.5%	6.35 mm	ITChetumal	\$ 607.75
Panel de cemento 40-0.5%	6.35 mm	ITChetumal	\$ 737.89
Panel de cemento 40-1.5%	6.35 mm	ITChetumal	\$ 741.74
Panel comercial de cemento	12.70 mm	México	\$ 251.95
Panel de fibrocemento	10.00 mm	Dinamarca	\$ 1,764.36
Panel laminado compacto de alta presión	8 mm	Holanda	\$ 2,066.56
Panel de aluminio compuesto	4 mm	Alemania	\$ 1,661.18
Panel fenólico	8 mm	España	\$ 4,141.20
Panel de cerámica extruido alveolar	16 mm	España	\$ 1,097.81