



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍA DE LA MADERA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

Caracterización físico-mecánica de un material
compuesto a base de aserrín y cemento sometido a
presión hidráulica

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

Presenta:

Ing. Alonso Ayala Díaz

Director de tesis:

Dr. José Cruz de León

Morelia, Michoacán, Febrero del año 2020.



RESUMEN

En este estudio se busca incorporar un residuo de la industria forestal como lo es el aserrín que se produce en altos volúmenes, a un bloque de construcción. Un uso más especializado para este residuo se busca con este proyecto. El aserrín, además de representar una pérdida en cuanto a materia prima respecta, es un potencial riesgo de incendios y contaminación, además de ocupar espacio de manera innecesaria en los patios de los sitios donde la actividad de aserrío tiene lugar. Un uso dado a este residuo puede ser beneficioso para este respecto.

En este proyecto se utilizaron sustancias para aglutinar el aserrín como lo fue el cemento y el engrudo proveniente de la harina de trigo y se prensó la mezcla a cierta presión hidráulica para obtener un bloque. La prensa utilizada se construyó especialmente para este proyecto.

Se compararon datos de resistencia a la compresión y absorción de agua de una investigación anterior con los datos determinados para esas mismas características para el bloque propuesto en este estudio. Una estimación del aislamiento tanto acústica como térmica fue realizada al comparar los datos generados en este estudio para el bloque propuesto y para un tabique de barro recocido.

Palabras clave: Presión, bloque, ecológico, residuos, pruebas.

ABSTRACT

On this study, it is looked forward to incorporate sawdust that is considerate as a waste coming from the sawing of wood, and is produced on great volumes, to a construction brick. A more specialized use for this waste is looked on this study. Besides, sawdust represents a loss on wood processed. Though, sawdust is a risk of fire on sawmills and a contamination source and even an unnecessary use of space on these sites. Using sawdust for producing a brick could be a good option on this respect.

On this project were used substances to agglutinate sawdust such as cement and a paste coming from the wheat flour. The mix was pressed under a certain hydraulic pressure to obtain a brick. The press machine was made especially for this study.

Data obtained from proves of compression resistance and absorption of water coming from a prior study, were compared with the data obtained for the current brick. Estimations of the acoustic and heat isolation were made by comparing data generated on this study of both; clay and sawdust bricks.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. ASPECTOS GENERALES	4
3.1 Materiales cerámicos	4
3.1.1. El Cemento	5
3.1.1.1 Química básica del cemento	8
3.1.1.2 Hidratación del cemento	9
3.1.2. La arcilla	9
3.1.2.1 Proceso de fabricación del tabique de barro recocido	11
3.2 La harina de trigo	11
3.2.1 El Almidón	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	14
6. HIPÓTESIS	15
7. MATERIALES Y MÉTODOS	16
7.1 Materias Primas	16
7.2 Elaboración del bloque de material compuesto	17
7.2.1 Pruebas preliminares	17
7.2.2. Proceso de formación del bloque	18
7.3 Caracterización física y mecánica del material compuesto	23
7.3.1 Determinación de la absorción máxima inicial de agua y absorción total de agua NMX-C-037-ONNCCE-2013	23
7.3.1.1. Absorción máxima inicial de agua	23
7.3.1.2 Absorción total de agua en 24 horas	24
7.3.2 Determinación de la resistencia a la compresión NMX-036-ONNCCE-2013	25
7.3.2.1 Preparación de las probetas	25
7.3.2.2 Procedimiento para la prueba	27
7.3.3. Estimación del aislamiento acústico del bloque propuesto contra el tabique de barro recocido	28
7.3.4. Estimación del aislamiento térmico del bloque propuesto contra el tabique de barro recocido	31
7.4 Análisis de Varianza (ANOVA)	33
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
8.1. Determinación y comparación de la absorción de agua y absorción máxima inicial de agua	34
8.1.1 Absorción máxima inicial de agua	34
8.1.2. Absorción total en 24 horas	35
8.2 Determinación y comparación de la resistencia a la compresión	36
8.3 Estimación y comparación del aislamiento acústico	38
8.4. Estimación y comparación del aislamiento térmico	39

8.5 Fabricación de una prensa hidráulica	51
9. CONCLUSIONES	57
10. RECOMENDACIONES	59
11. BIBLIOGRAFÍA	60

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales componentes del cemento Portland.....	8
Cuadro 2. Compuesto complementarios del cemento Portland.....	8
Cuadro 3. Absorción máxima inicial de agua para tres materiales. Los valores están expresados en g/min.....	34
Cuadro 4. Absorción máxima total de agua para tres materiales. Los valores están expresados en porcentaje de absorción.....	36
Cuadro 5. Resistencia a la compresión de tres materiales. Los valores están expresados en kg/cm ²	36
Cuadro 6. ANOVA para los datos recopilados para aislamiento acústico.....	38
Cuadro 7. Aislamiento acústico de dos materiales. La tabla expresa los decibeles aislados por el material.....	39
Cuadro 8. Valores F y p para el proceso de calentamiento (Temperaturas interiores).....	40
Cuadro 9. Valores F y p para el proceso de calentamiento (Temperaturas exteriores).....	41
Cuadro 10. Valores F y p para el proceso de enfriamiento Nivel 1.....	41
Cuadro 11. Valores F y p para el proceso de enfriamiento Nivel 5.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los materiales cerámicos según la American Ceramic Society.	4
Figura 2. Clasificación de la arcilla.....	10
Figura 3. Componentes de la harina de trigo.....	11
Figura 4. Cemento utilizado para la constitución de la mezcla.	16
Figura 5. Criba con malla comercial de 5 x 5 mm.	17
Figura 6. Aserrín para mezcla.....	17
Figura 7. Cemento para la mezcla.....	17
Figura 8. Engrudo para la mezcla.....	17
Figura 9. Aserrín y cemento listos para mezclarse.....	18
Figura 10. Aserrín, cemento y engrudo ya mezclados.	19
Figura 11. Aserrín, cemento, engrudo y agua ya mezclados dando como resultado la mezcla para fabricación del bloque.....	19
Figura 12. Tablas para soportar la mezcla en la prensa.....	20
Figura 13. Prensa hidráulica para la elaboración de bloques.	20
Figura 14. Obtención del bloque de material compuesto por medio de una prensa fabricada.....	21
Figura 15. Bloques fabricados para caracterización física y mecánica.	21
Figura 16. Diagrama de operaciones para la elaboración de bloques de estudio.	22
Figura 17. Caracterización física y mecánica de los bloques elaborados.....	23
Figura 18. Bloque sometido a prueba de absorción máxima inicial de agua.	24
Figura 19. Bloques sumergidos en agua por 24 horas.....	24
Figura 20. Máquina universal marca "Forney" utilizada para la prueba de compresión.....	25
Figura 21. Preparación de azufre para cabeceo de las piezas a comprimir.	25
Figura 22. Placa de cabeceo utilizada en el proceso y escuadra de límite.	26
Figura 23. Cabeceo en proceso.	26
Figura 24. Nivel usado para el correcto cabeceo de las muestras.	27
Figura 25. Placa de asiento colocada sobre los bloques al momento de realizar la prueba.....	27
Figura 26. Prueba a compresión en proceso.....	27
Figura 27. Software utilizado para la lectura de la carga ejercida en los bloques.....	28
Figura 28. Detalle del software usado. La carga sigue aumentando a pesar de haber llegado ya a una falla crítica.	28
Figura 29. Cámara elaborado para estimar el aislamiento acústico del material compuesto.	29
Figura 30. Impracticidad de aplicar pulso de onda ultrasónico debido a la porosidad del material..	29
Figura 31. Interfaz de la aplicación "sonómetro" con la que se estimó el aislamiento acústico.	30
Figura 32. Detalle de la prueba de estimación del aislamiento acústico para el tabique de barro recocido.....	31
Figura 33. Cámara utilizado para estimar el aislamiento térmico del tabique de barro recocido.....	31
Figura 34. Cámara utilizado para estimar el aislamiento térmico del bloque de material compuesto.	32
Figura 35. Parrilla utilizada para realizar la estimación del aislamiento térmico.....	32
Figura 36. Absorción máxima inicial de agua para tres materiales expresada en g/min.....	35
Figura 37. Absorción total de agua a las 24 horas para tres materiales.....	36

Figura 38. Resistencia a la compresión para tres materiales mencionados expresados en kg/cm ² ...	37
Figura 39. Porcentaje de aislamiento acústico con respecto a una fuente de sonido sin aislamiento.	39
Figura 40. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	43
Figura 41. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el primer nivel en ambos materiales evaluados.	43
Figura 42. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	44
Figura 43. Temperatura exterior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	44
Figura 44. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el segundo nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	45
Figura 45. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el segundo nivel en ambos materiales evaluados.	45
Figura 46. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el tercer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	46
Figura 47. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el tercer nivel en ambos materiales evaluados.	46
Figura 48. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el cuarto nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	47
Figura 49. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el cuarto nivel en ambos materiales evaluados.	47
Figura 50. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el quinto nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	48
Figura 51. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el quinto nivel en ambos materiales evaluados.	48
Figura 52. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	49
Figura 53. Temperatura exterior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.	49
Figura 54. Perfil de temperatura en fase calentamiento para el sistema de tabique de barro recocido en 5 niveles de temperatura.	51
Figura 55. Perfil de temperatura para el sistema de material compuesto en 5 niveles de temperatura.	51
Figura 56. Manguera hidráulica de 2000 psi de resistencia.	53
Figura 57. Terminales hidráulicas.	53
Figura 58. Gato hidráulico de 4 toneladas de capacidad marca "Truper".	53
Figura 59. Manómetro de 2000 psi de capacidad marca "Instrutek".	54
Figura 60. Toma reductora.	54
Figura 61. Detalle del sistema hidráulico completo.	55
Figura 62. Prensa hidráulica fabricada para la producción del material compuesto propuesto.	55
Figura 63. Detalle del interior de prensa hidráulica.	56

1. INTRODUCCIÓN

La industria del aserrío tiene la característica de generar grandes volúmenes de desperdicio durante el proceso de explotación y elaboración de la misma, esto ocurre incluso antes de que la madera sea introducida en el proceso propiamente dicho hasta la obtención del producto final (Ortiz *et al.*, 2004).

En la actualidad, la utilización de los subproductos forestales tiene un alto grado de desaprovechamiento. El aserrín, virutas, despuntes, entre otros, se almacenan en grandes cerros o se quema en calderas, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor (Soto y Nuñez, 2008)

Según el anuario de la producción forestal de la SEMARNAT, durante el período 2007-2016, la producción forestal maderable ha fluctuado, iniciando con 7.0 millones de metros cúbicos rollo (m³r) en 2007 y finalizando con 6.7 millones de metros cúbicos en 2016.

En una construcción, las paredes o muros, pueden cumplir con la función de solo dividir o aislar. El peso de una construcción es soportado principalmente por columnas, pilares y pilastras, por lo que las paredes pueden ser construidas con una gran variedad de elementos adheridos en su mayoría con mortero o cemento.

Este proyecto tiene como finalidad, la de elaborar un bloque de material compuesto a base de aserrín y cemento con potencial de ser utilizado en construcción, que pueda ser formado por medio de una prensa y observar cómo se comporta a una presión de prensado de 30 kg/cm².

2. ANTECEDENTES

Se realizó un estudio con respecto al efecto que produce el agregar aserrín a bloques de hormigón con el fin de mejorar su aislamiento térmico y acústico. En este se mencionan cantidades de dosificación preliminares para tabiques de hormigón y aserrín donde los valores que figuran son: 300 kg/ m³ con dosificación de aserrín fino y grueso de 40 / 60; 50/ 50 y 60/ 40 en porcentaje. De la misma manera se realizó el mismo proceso modificando la cantidad de cemento para modificar la densidad resultante en 400 y 500 kg/m³. Debido al proceso de formación para los bloques que fue utilizado, por medio de una máquina vibradora, las probetas no arrojaron resultados concluyentes ya que mostraban fisuras y defectos (Garces, 2004)

Se estudió el comportamiento de un eco ladrillo formado a partir de una matriz hecha a partir de suelo arcilloso, cemento y cal hidráulica. Ceniza de cascara de arroz como aditivo resistente y como aditivo estructurante la misma cascarilla de arroz también fueron utilizados. Todas las combinaciones estudiadas fueron realizadas a tres niveles de compactación relativamente bajos (1, 5 y 10 MPa). No obstante, se descarta la realización de estos ladrillos compactados a 1 MPa, sobre todo, porque la estructura de los mismos es excesivamente abierta. Posteriormente fueron descartadas las combinaciones a 5 MPa ya que, al contrario de lo que se observaba a 10 MPa, no se producen mejoras significativas. Las mejores características fueron observadas en los bloques formados a 10 MPa (Cabo, 2011)

En un estudio realizado, se logró, para un bloque formado con una prensa manual una densidad de 715 kg/m³ mientras que la densidad del tabique de barro recocido es de 1352 kg/m³. Además, logra buenos resultados en el ensayo de absorción de agua en el que se hace mención sobre la probable injerencia de los extraíbles del Oyamel (*Abies religiosa*). El bloque fue formado por 624 g de aserrín y 624 g de cemento, siendo su relación de 1:1 (Corona, 2008)

Se realizó un estudio en el cual se evaluaron bloques huecos con matriz de cemento, y arena con aserrín como aditivos estructurantes. Además, se realizaron tres mezclas con distintas concentraciones de los agregados y cemento. Se observó que partículas de aserrín menores a 4 mm imposibilitaban la trabajabilidad de la mezcla. En el ensayo a compresión efectuado arrojó que la mezcla con proporción de 1 : 2,6 : 0,6 en cemento, arena y aserrín correspondientemente fue la que mejores resultados obtuvo con una resistencia a la compresión de 33 kg/cm². Por otro lado, en el ensayo de absorción de agua, las tres mezclas absorbieron un promedio de 15% de su peso en agua lo cual es bastante en comparación con bloques de concreto convencionales. Se menciona la importancia de la cal hidráulica en contra del bio-deterioro que podría sufrir el aserrín (Macuarizma y Martinez, 2011).

Existen estudios llevados a cabo en el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) en Argentina cuyo objetivo es la sustitución de materiales en algunos campos de la construcción como el aprovechamiento de la cascara de cacahuate —debido a la gran producción de este comestible en aquel país— mezclados con poliéster y cemento (CEVE, 2018).

La industria “Eco-Maquinas” establecida en Brasil, produce maquinaria y ladrillos ecológicos con distintos tipos de residuos que van desde los desechos de la minería hasta desechos agrícolas desde el año de 2003 (Eco-Maquinas, 2018).

Existen tableros de madera-cemento el cual es un producto en donde la madera sólo supone el 25% en peso del total del producto cuyas características más importantes se refieren a su resistencia y reacción al fuego tanto como a su aislamiento acústico (Vignote y Martinez, 2006).

Como dato de referencia, en la industria de la fabricación de tablero de partículas, se utilizan presiones de prensado de alrededor de 10 kg/cm^2 dependiendo del adhesivo (Vignote y Martinez, 2006).

Se realizó un estudio en el cual se formaron bloques de adobe. Se sustituyó el abono utilizado tradicionalmente en la fabricación de adobe, por ixtle (*Agave lechuguilla*) y con una mezcla de cal-yeso como estabilizante. En este estudio se compactaron los bloques con una adobera a 5 MPa. El yeso y la cal se agregaron a razón de 6% cada uno de acuerdo a la cantidad de suelo arcilloso que se ocupó en el adobe. Los adobes arrojaron resultados satisfactorios por arriba de los parámetros establecidos en la norma NMX-C-508-ONCCE-2005 para bloques de tierra comprimida estabilizados con cal, para este tipo de bloque estudiado. Su resistencia a la compresión fue de un promedio de 90.7 kg/cm^2 (Algara *et al.*, 2012).

3. ASPECTOS GENERALES

Al estar compuesto el material propuesto, de aserrín, cemento y engrudo a partir de harina de trigo, y aunado a que se utilizaron tabiques de barro recocido, en los apartados siguientes se revisaran algunos aspectos generales sobre la composición general del cemento así como también datos generales sobre la química del cemento y el proceso de hidratación de este. Se muestra a continuación la clasificación de la arcilla y sus características además de la composición y características de la harina de trigo.

3.1 Materiales cerámicos

La American Ceramic Society clasifica los materiales cerámicos en siete grupos distintos (Newell, 2011) los cuales se verán a continuación.

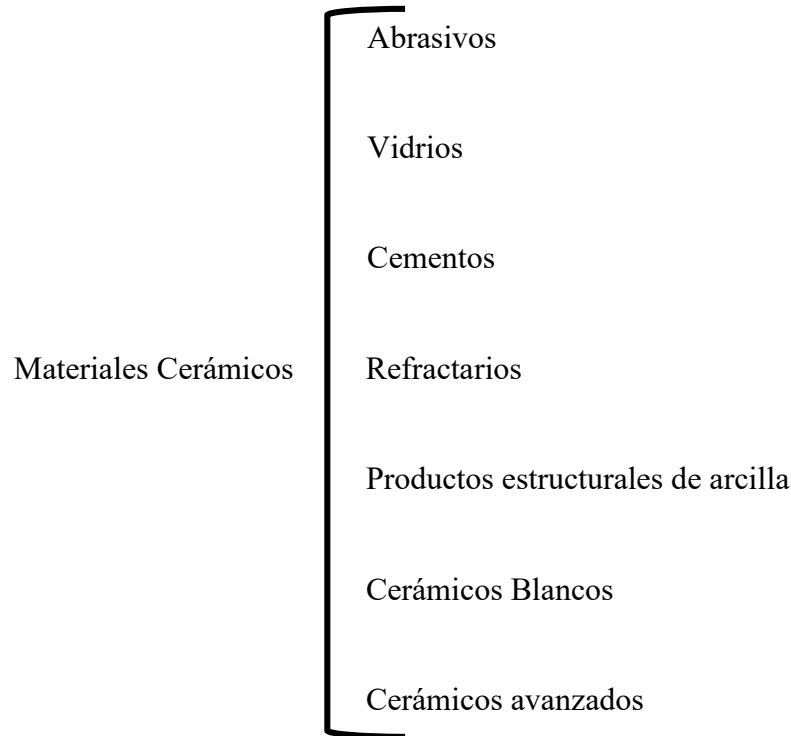


Figura 1. Clasificación de los materiales cerámicos según la American Ceramic Society.

Dentro de los “Productos estructurales de arcilla” se incluye cualquier material cerámico empleado en la construcción de edificios y casa habitación como lozas, ladrillos, tabiques y columnas. La integridad estructural es el factor crítico en los productos estructurales de arcilla. De igual manera, dentro de “Cementos”, existe una gran variedad de estos que se utilizan según la aplicación a la que este destinada. A continuación se hablara de ellos más a detalle.

3.1.1. El Cemento

Cemento natural

El cemento natural se obtiene triturando y calcinando la roca de cemento natural, una piedra caliza arcillosa que contiene más del 25% del material arcilloso. Su color es entre amarillo y café y posee de entre un tercio y la mitad de la resistencia a la compresión y a la tensión comparada con el cemento Portland. Es de poco uso en la actualidad (Love, 1996)

Usos del cemento natural

Los hay de dos tipos: El cemento natural tipo N y el cemento natural tipo NA. El cemento natural se utiliza en preparaciones de cementos para mortero en albañilería y, combinado con cemento Portland, para mezclas de concreto (Love, 1996)

El cemento Portland

El cemento de más amplio uso es el cemento Portland. Se le denomina cemento hidráulico porque su dureza se desarrolla por reacciones químicas con el agua (Callister, 2016). Este cemento es obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente molerse con el producto resultante. Esta hecho básicamente de la combinación de un material calcáreo –como piedra caliza y yeso- y una base de sílice y alúmina, como arcilla o esquistos.

Clasificación del cemento Portland (Neville y Brooks, 1998)

Cemento Portland Común (ASTM Tipo I)

Este es con mucho el cemento más usado en construcciones con concreto donde no hay exposición a sulfatos en el suelo o en agua del subsuelo. El cemento Portland común tipo I es un excelente cemento de aplicación general. Se usa para construcción de pavimentos o aceras, edificios, vías férreas, albañales, mezclas de barro cemento, tuberías de agua y elementos de albañilería.

Cemento Portland Modificado (ASTM Tipo II)

En algunos casos una resistencia temprana muy lenta constituye una desventaja. Por esta razón se desarrolló un cemento modificado en la que una de sus características es la de un aumento de desarrollo de resistencia similar al de tipo I. Este cemento se recomienda para estructuras en las que pueda darse un ataque moderado de sulfato y cuando el clima sea cálido. Aunque sus características varían con el de Tipo I, se le puede considerar de uso general.

Cemento Portland De Endurecimiento Rápido (ASTM Tipo III)

Es un cemento similar al de tipo I y se rige por las mismas normas. Como lo indica su nombre, desarrolla su resistencia rápidamente debido a su mayor contenido de C_3S y a su mayor finura. Es precisamente su finura el factor distintivo entre el Portland común y el de rápido endurecimiento: por lo general hay poca diferencia en su composición química.

- **Cemento Portland Especiales de endurecimiento rápido**

Estos son cementos especialmente fabricados para un endurecimiento súper rápido. La alta resistencia temprana se logra por una mayor finura y un mayor contenido de yeso, pero esto no afecta su solidez a largo plazo. Sus usos típicos son en el pretensado temprano y en reparaciones urgentes. Su periodo de fraguado es de 1 a 30 minutos. Este cemento es caro pero insustituible cuando se requiere una alta resistencia extremadamente temprana.

Cemento Portland De bajo Calor (ASTM Tipo IV)

Desarrollado para utilizarse en grandes e importantes cantidades. Debido al contenido más bajo de C_3S y C_3A , hay un desarrollo más lento de resistencia que en el cemento Portland ordinario, aunque la resistencia final no es afectada.

Cemento Portland Resistente a los sulfatos (ASTM Tipo V)

Este cemento tiene un bajo contenido de C_3A para evitar un ataque de sulfato desde el exterior del concreto; de otra manera, la formación de sulfoaluminato de calcio y el yeso pueden ocasionar rotura del concreto debido al incremento de volumen de los componentes resultantes. Las sales más activas son el sulfato de magnesio y de sodio. El sulfato ataca con mayor rapidez si la estructura se moja y se seca de manera alternativa, como en el caso de estructuras marinas expuestas a la marea o al chapoteo.

Otros cementos Portland

Cemento Portland con retentivos de aire

Estos cementos poseen pequeñas cantidades de materiales retentivos de aire entremezclados con la escoria durante su fabricación. Estos cementos producen concretos con mayor resistencia a la congelación y al desprendimiento ocasionado por los químicos aplicados a la remoción de nieve y hielo (Love, 1996).

Cemento Portland De Alto Horno (Tipo IS)

Este cemento se obtiene moliendo o mezclando juntos escoria de cemento Portland con escoria de alto horno granulados, que es un producto de desperdicio en la manufactura de lingotes de hierro. Este cemento es de uso general.

Cemento Portland blanco y de colores

Para fines arquitectónicos a veces se necesita concreto de color blanco, o, en países tropicales, un acabado color pastel. Para estos fines se utiliza cemento blanco. Se emplea además por su bajo contenido de álcalis solubles que permite evitar la oxidación.

Cementos Portland Puzolana (Tipos IP, P, e I (PM))

Estos cementos se hacen mezclando o moliendo puzolanas y cemento Portland, siendo la puzolana un material silicoso y aluminoso que en si no posee un valor cementante pero que lo tendrá en una forma dividida y fina en presencia de humedad.

Cementos para albañilería

Los cementos para albañilería son mezclas de cemento Portland con mezclas de aditivos de retención de aire y materiales complementarios seleccionados para proporcionarle las características necesarias en morteros de albañilería (Love, 1996).

Cementos especiales

Cementos expandibles

Son cementos que no cambian su volumen por contracción a pesar del secado o que incluso pueden expandirse durante el fraguado. El concreto que contiene este tipo de cemento se expande en los primeros días de vida, y al restringir esa expansión con un esfuerzo de acero se logra una forma de pretensado: el acero es puesto a tensión y el concreto a compresión (Neville y Brooks, 1998).

Cemento con alto contenido de alúmina (CCAA)

Estos cementos se desarrollaron a principios de siglo para resistir el ataque del sulfato, pero pronto se empezó a usar como un cemento de endurecimiento ultra rápido, aunque, resulta ser más caro que, por ejemplo, el cemento Portland de endurecimiento rápido (Tipo III).

Cementos para pozos petroleros

Este cemento está hecho para endurecer a las altas temperaturas a las que estas sometidos estos sitios de extracción profundos.

Cementos Portland a prueba de agua

Se consigue al mezclar materiales repelentes al agua con la escoria en la cual se basa.

Cementos plásticos

Los cementos plásticos se hacen añadiendo agentes plastificantes a la mezcla. Se usan para hacer mortero, aplanados y estuco (Love, 1996).

3.1.1.1 Química básica del cemento

Las materias primas de las que está elaborado el cemento Portland actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos y, aparte de un pequeño residuo de cal no combinado que no tuvo suficiente tiempo para reaccionar, se logra un estado de equilibrio químico. Los componentes principales de cemento son cuatro y se presentan a continuación:

Cuadro 1. Principales componentes del cemento Portland.

Nombre del componente	Composición óxida	Abreviatura	% peso
Silicato de tricalcio	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	28
Silicato de bicalcio	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	46
Aluminio de tricalcio	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	11
Aluminoferrato	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8

Los componentes que completan la constitución total del cemento portland se muestran a continuación:

Cuadro 2. Compuesto complementarios del cemento Portland.

Nombre del componente	Composición oxida	Abreviatura	% peso
Yeso	CaSO_4	-	3
Magnesia	MgO	-	3
Oxido de calcio	CaO	C	0-5
Oxido de sodio	Na_2O	-	0-5
Oxido de potasio	K_2O	-	

Las abreviaturas empleadas por los químicos del cemento, describen cada óxido con una letra; por ejemplo: $\text{CaO} = \text{C}$, $\text{SiO}_2 = \text{S}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$, y $\text{FeO} = \text{F}$. De igual manera, H_2O en el cemento hidratado se denomina como H (Neville y Brooks, 1998).

Los silicatos C_3S y C_2S , son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la pasta hidratada de cemento. Los silicatos C_3S y C_2S son los componentes más importantes y los causantes de la resistencia de la pasta hidratada de cemento.

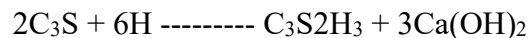
La presencia de C_3A en el cemento no es deseable, ya que contribuye poco o nada a la resistencia del mismo, excepto en las primeras etapas y cuando la pasta de cemento endurecida es atacada por sulfatos.

El C₄AF también está presente, en pequeñas cantidades, en el cemento y, en comparación con los otros tres componentes, no influye significativamente en su comportamiento.

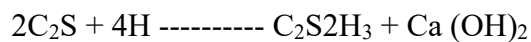
3.1.1.2 Hidratación del cemento

El cemento en polvo más agua da como resultado el material más importante que es la pasta de cemento. En presencia de agua, los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación o hidratos, que resultan en una masa firme y dura: la pasta endurecida de cemento. Los dos silicatos de calcio (C₃S y C₂S) son los principales compuestos aglutinantes en el cemento, de los cuales el primero se hidrata más rápidamente que el segundo. El producto de la hidratación del C₃S es el hidrato micro cristalino C₃S2H₃, con un poco de cal separada como Ca (OH)₂ cristalino. El C₂S se comporta de manera similar, pero contiene menos cal. Las reacciones de hidratación aproximadas se escriben como sigue:

Para C₃S



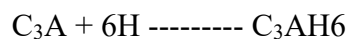
Para C₂S



Al C₃S le toma cerca de 30 días para llegar al 70% de su resistencia final, en tanto que C₂S solamente llega a dos tercios de su resistencia final a los seis meses a temperaturas normales. En consecuencia, el concreto sigue endureciéndose durante años. (J.C. Anderson *et. al*, 1978)

La cantidad de C₃A en la mayoría de los cementos es comparativamente pequeña, su estructura hidratada tiene una forma cristalina cúbica rodeada por hidratos de silicato de calcio.

Al agregar agua, existe una reacción muy rápida que produce mucho calor de hidratación (J.C. Anderson *et. al*, 1978).



La reacción de C₃A podría conducir a un fraguado instantáneo que se evita al añadir yeso a la escoria de cemento. Aun así, el promedio de la reacción de C₃A es más rápido que el de los silicatos de calcio.

Cabe destacar que el proceso por el que se endurece el cemento no es un mecanismo de secado, sino más bien de hidratación en el que el agua participa realmente en una reacción de enlace químico. (Callister, 2016)

3.1.2. La arcilla

Las arcillas están constituidas fundamentalmente por silicatos de aluminio hidratados (Góma, 1978). Las arcillas son aluminosilicatos compuestos de alúmina (Al₂O₃) y sílice (SiO₂) que contienen agua enlazada químicamente y presentan una amplia gama de características física, composiciones químicas y estructuras.

Plasticidad

Las arcillas se distinguen de los demás materiales térreos por el fenómeno de la plasticidad. Esta propiedad diferenciadora se pone de manifiesto cuando se mezcla una arcilla con una determinada proporción de agua (no superior al 20%) y se somete a presión el producto amasado. La presión produce un efecto de deformación, que continua estable aunque haya desaparecido dicha presión, es, por tanto, moldeable. La plasticidad se opone al fenómeno de elasticidad. Los productos elásticos recobran su forma primitiva al desaparecer la fuerza constante que modifica su forma (Gomá, 1976).

Clasificación de las arcillas

La mayoría de los productos elaborados a base de arcilla se dividen en dos grandes categorías: las de productos estructurales de arcilla y las porcelanas. Los productos estructurales de arcilla incluyen ladrillos, tabiques, tejas, azulejos y tuberías de alcantarillado, es decir, aplicaciones en las que la integridad estructural es importante. La porcelana se vuelve blanca después del proceso de cocción a alta temperatura. Se incluye en este grupo la porcelana blanca, las vajillas, la porcelana china y la porcelana sanitaria.

Por otro lado, (De Pablo, 1964) clasifica las arcillas de la siguiente manera:

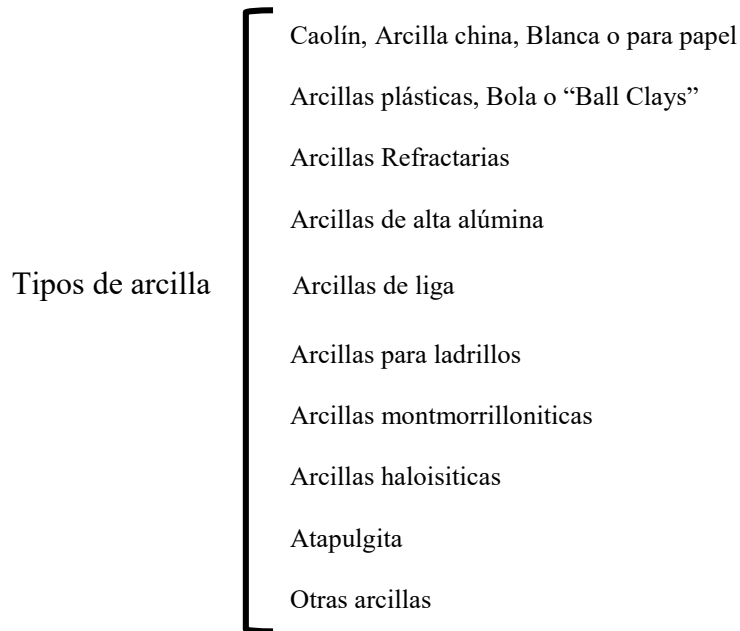


Figura 2. Clasificación de la arcilla.

Las arcillas para ladrillos son impuras, de mediana plasticidad, composición y mineralogía variable, útiles para la fabricación de ladrillos. Generalmente no son blancas y contienen hasta 5% de alcalies, 12% de alcalinotérreos y 8% de óxido férrico.

3.1.2.1 Proceso de fabricación del tabique de barro recocido

Selección y preparación de la mezcla

La calidad del producto quedara definida por la fineza de la pasta. La arcilla debe someterse a procesos de trituración y homogenización para obtener una adecuada consistencia de la pasta. Posteriormente, se aplica agua en cantidades convenientes para la producción.

Moldeo

Este proceso se realiza a mano o empleando maquinaria. En procesos artesanales únicamente se lleva a cabo el proceso llenando las gaveras o moldes vaciando la mezcla dentro de ellas y compactándola con las manos (Rhodes, p. 19 1990, citado por Barrenzuela, 2014)

Secado

Este proceso consiste en la perdida de humedad ligada a la pasta.

Cocción

El proceso de cocción consiste en someter los ladrillos que ya han secado, a condiciones de altas temperaturas dentro de un horno con el fin de que adquieran las propiedades físico-mecánicas deseadas, ya que la arcilla sin cocer tiene propiedades muy bajas.

3.2 La harina de trigo

En este estudio se utilizó la harina de trigo para elaborar engrudo buscando una mejora en la adhesión de las partículas de la mezcla. La harina de trigo está formada por 4 componentes principales:

Componentes de la harina de trigo

Gluten:

Cuando se mezcla con agua, la harina forma una substancia viscosa y elástica llamada Gluten que está compuesta de dos proteínas llamadas glutenina y gliadina.

Fraciones solubles en agua:

Las fracciones solubles en agua se componen de proteínas, pentosas y componentes dializables.

Lípidos:

Es un componente minoritario dentro de la harina de trigo.

Almidón:

Sus tres principales características son: Absorción de agua, gelatinización y retrogradación (Eskin, 1990).

Figura 3. Componentes de la harina de trigo.

3.2.1 El Almidón

En este apartado se habla de las características del almidón puesto que es uno de los principales componentes de la harina de trigo que compone el engrudo que se utilizó para la fabricación del bloque de material compuesto y sus tres características principales son las que generan la adhesión de este compuesto.

Absorción de agua

Por lo general, los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero cuando se unen con agua tibia, rápidamente absorben agua y se hinchan. Este proceso es reversible a temperatura ambiente aunque a temperaturas de gelatinización —por arriba de los 50° C— la absorción de agua por parte del granulo aumenta hasta llegar a más del doble de su peso en agua.

Gelatinización

Este proceso ocurre cuando los gránulos de almidón son calentados en un medio acuoso. Cuando el almidón es calentado a temperaturas entre 58° C y 64°C los enlaces de hidrogeno se rompen o se debilitan dando como resultado un incremento en la absorción de agua.

Retrogradación

Este proceso se refiere al cambio físico que ocurre al almidón desde un estado de gelatinización a una estructura más cristalina. La retrogradación se refleja en el envejecimiento de este y deriva en un decremento de la solubilidad del almidón y un aumento en la rigidez de su estructura (Eskin, 1990).

4. JUSTIFICACIÓN

Debido a la necesidad de elementos constructivos que contribuyan al mejoramiento de las características de vivienda, producirlos a bajo costo además de obtenerlos con un sentido de sustentabilidad, es importante. La intensa producción de bienes necesarios para el hombre ha provocado de manera directamente proporcional, la generación grandes cantidades de residuos entre los que se cuentan los de la actividad correspondiente al ámbito forestal. Por esto, es importante darle un uso a la materia prima que se desperdicia en el proceso de aserrío y darle un valor agregado en algún otro producto de consumo o en su defecto, recuperarlo con mayor eficiencia dentro del proceso de producción.

Generar conocimiento sobre las características de los materiales conocidos como “ecológicos” resulta ser de interés para dar un sentido de sustentabilidad en algunas industrias.

Impulsar este tipo de proyectos para una industria forestal que tienda al mínimo de residuos, y por añadidura, lograr que la industria de aserrío sea cada vez más sustentable, se convierte en un tema de importancia.

Este proyecto busca la incorporación del aserrín —como desecho del aserrío— por medio de una máquina que tenga la posibilidad de fabricar un bloque de material compuesto que pueda ser usado en la elaboración de vivienda.

5. OBJETIVOS

Objetivo general

Elaborar y caracterizar física y mecánicamente un bloque de material compuesto a base de aserrín de *Pinus sp.* y cemento, sometido a una presión de 30 kg/ cm² que pueda ser utilizado en una construcción.

Objetivos particulares

1. Determinar y comparar la absorción máxima inicial de agua y absorción total de agua del bloque propuesto contra el tabique de barro recocido.
2. Determinar y comparar la resistencia a la compresión del bloque propuesto contra un tabique de barro recocido.
3. Estimar y comparar el aislamiento acústico del bloque propuesto contra un tabique de barro recocido.
4. Estimar y comparar el aislamiento térmico del bloque propuesto contra un tabique de barro recocido.
5. Construcción de una prensa hidráulica de 2000 psi de capacidad de prensado.

6. HIPÓTESIS

Los bloques de material compuesto constituidos por aserrín y cemento, compactados a 30 kg/ cm² pueden ser utilizados en una construcción.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Materias Primas

El material utilizado como matriz para el material compuesto se adquirió en una distribuidora de materiales para la construcción y fue empleado el cemento Portland gris Tipo II Compuesto CPC 30R RS marca Cruz Azul el cual es ideal para estructuras de concreto simple como pisos, banquetas y guarniciones. Así como también en concreto armado en aplicaciones de trabes, cadenas de desplante, columnas, losas y pavimentos. Es de uso general, en todo tipo de estructuras, puentes, casas y edificios. (Cemento Cruz Azul, 2019)



Figura 4. Cemento utilizado para la constitución de la mezcla.

El aserrín que fungió como refuerzo del material compuesto fue obtenido de los desechos del laboratorio de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera ubicado dentro de las instalaciones de Ciudad Universitaria en Morelia Michoacán. Siendo en su totalidad aserrín de pino. Este a su vez se dejó secar al aire libre por un mes.

El aserrín utilizado fue cribado con malla comercial de 5x5 mm con la intención de eliminar cualquier residuo demasiado grande que pudiera afectar la integridad de la mezcla para los bloques que se esperaban lograr.



Figura 5. Criba con malla comercial de 5 x 5 mm.

Así mismo se utilizó harina de trigo suponiendo una mejora en la adhesión de la mezcla. Para este fin se utilizó harina de trigo de marca “Guadalupe Optima” que se obtuvo en una tienda de abarrotes. Las características de adhesión entre los materiales del bloque y el engrudo no fueron evaluadas. Por otro lado, se diluyeron 50 gramos de harina de trigo en 100 ml de agua fría y posteriormente se vertieron en 200 ml de agua previamente calentada. Se mezcló hasta que la preparación obtuviera una consistencia de gel. Para cada bloque se utilizaron las cantidades de harina y agua referidas anteriormente.



Figura 6. Aserrín para mezcla.



Figura 7. Cemento para la mezcla.



Figura 8. Engrudo para la mezcla.

Se utilizó tanto tabiques de barro recocido como control así como también datos de una investigación previa en Corona, (2008) para la caracterización del bloque propuesto. Los tabiques de barro fueron adquiridos en una distribuidora de materiales para la construcción.

7.2 Elaboración del bloque de material compuesto

7.2.1 Pruebas preliminares

Se elaboraron algunos bloques para lograr la mejor proporción entre los materiales que formaron la mezcla. Las mezclas que se realizaron fueron de la siguiente manera: 1:1, 1:2, 1:3. Algunos fueron elaborados únicamente con la mezcla de aserrín y cemento y a los restantes se les agregó engrudo como un aglutinante más. Las mezclas de 1:2 y 1:3 resultaban solidas tanto con engrudo como sin este pero representaban una obtención muy baja de bloques por bulto. La relación 1:1 fue la mejor debido a que se obtiene una cantidad considerable por bulto además de también resultar resistentes. Además, las presiones utilizadas por debajo de 20 kg/cm^2 resultaban ser quebradizas razón por la cual se decidió utilizar una presión de 30 kg/cm^2 .

7.2.2. Proceso de formación del bloque

En base a las pruebas preliminares se estimó la cantidad necesaria de materia prima en cuanto a aserrín y cemento que fue de 724 g respectivamente. Esta cantidad fue la adecuada para obtener bloques de las medidas deseadas —7 cm x 14 cm x 28 cm— siendo alto x ancho x largo. Además, 350 g de engrudo, obtenidos a partir de harina de trigo, fueron utilizados por unidad. Los tres componentes fueron mezclados con 1200 ml de agua para lograr la mezcla necesaria para la elaboración del bloque y prensados a 30 kg/cm^2 . La mayor parte del agua en la mezcla se evaporó durante el secado. Se decidió utilizar esta presión, debido a que por debajo, con estos materiales y estas dosificaciones, los bloques eran quebradizos y no lograban ser manipulados sin riesgo de romperse.

El proceso seguido para la obtención del bloque fue como sigue a continuación: Primero se recolectó el aserrín de desperdicio proveniente del laboratorio de la facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, una vez obtenido el aserrín fue cribado en malla comercial 5 x 5 mm para eliminar residuos demasiado grandes que pudieran obstaculizar la formación de la mezcla. El engrudo fue elaborado a partir de harina de trigo. A continuación se colocó dentro de una cubeta de 20 litros la cantidad de aserrín, cemento y engrudo necesarios para la fabricación de cada bloque. Se mezclaron y finalmente se agregó el agua necesaria para cada bloque.



Figura 9. Aserrín y cemento listos para mezclarse.



Figura 10. Aserrín, cemento y engrudo ya mezclados.



Figura 11. Aserrín, cemento, engrudo y agua ya mezclados dando como resultado la mezcla para fabricación del bloque.

Se dimensionaron tablas con medidas de 14 cm x 28 cm para sobre ellas verter la cantidad necesaria de mezcla para obtener los bloques.



Figura 12. Tablas para soportar la mezcla en la prensa.

Posteriormente, la mezcla fue vaciada en una prensa hidráulica con capacidad de hasta 100 kg/cm² y dos cajones para dos bloques. De manera que los bloques no se pegaran, fue necesario colocar aceite quemado en las paredes y en la base para evitar que el bloque se adhiriera o sufriera algún daño por adhesión con la placa de la prensa. Las medidas del bloque fueron 7 cm x 14 cm x 28 cm. La placa se tuvo que abrir un centímetro más (8 cm) para obtener los 7 cm de espesor. Los bloques fueron prensados a 30 kg/cm².

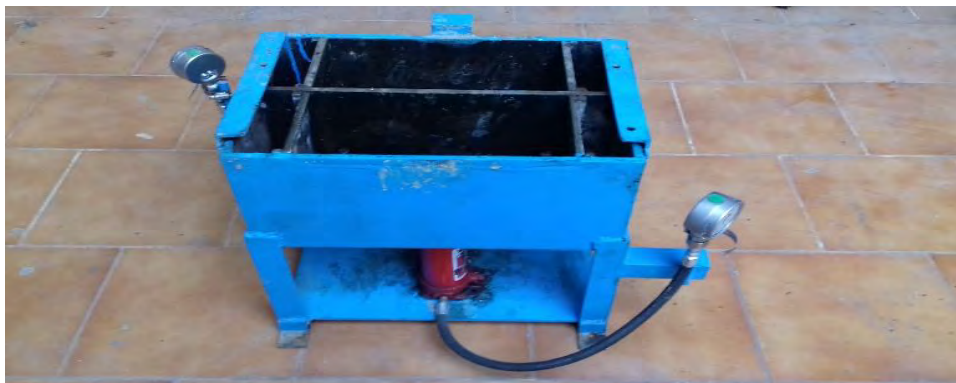


Figura 13. Prensa hidráulica para la elaboración de bloques.



Figura 14. Obtención del bloque de material compuesto por medio de una prensa fabricada. 1) Lubricación para fácil desmolde. 2) Vertido de mezcla en el molde. 3) Compactación de la mezcla. 4) Prensado del bloque a 30 kg/cm². 5) Obtención del bloque.

Luego de este proceso, los bloques se dejaron secar por 28 días para asegurar el endurecimiento aunque ya a los 20 días estaban secos, presumiblemente a la mayor porosidad producida por la harina de trigo en forma de engrudo en la mezcla.



Figura 15. Bloques fabricados para caracterización física y mecánica.

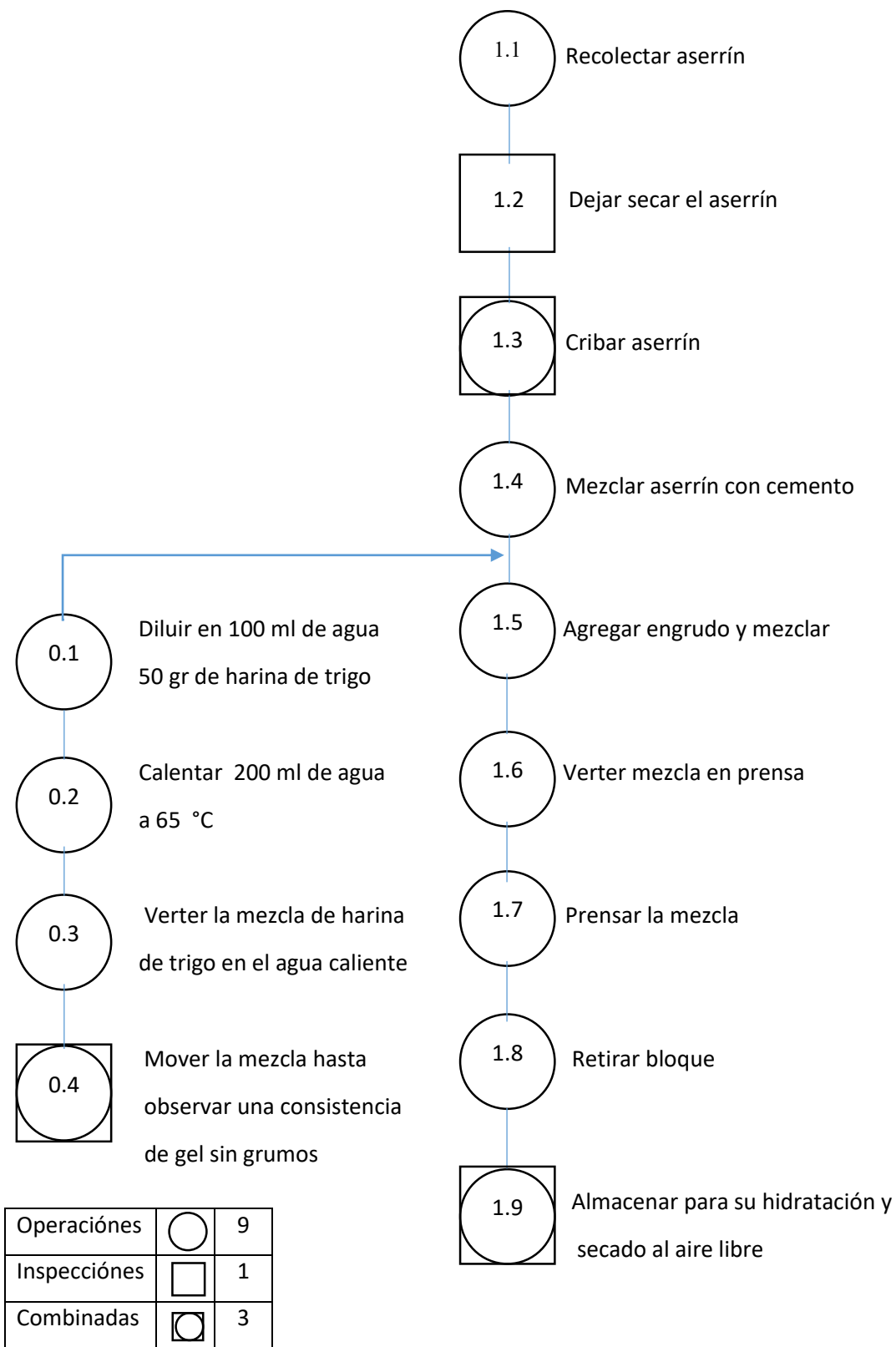


Figura 16. Diagrama de operaciones para la elaboración de bloques de estudio.

7.3 Caracterización física y mecánica del material compuesto

Las pruebas que se llevaron a cabo para la caracterización del material compuesto se realizaron en el laboratorio de preservación de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera así como también dentro del laboratorio de Resistencia de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” dependiente de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH.

Se realizaron pruebas aplicables a los materiales de construcción para su control de calidad tales como absorción máxima inicial de agua, absorción total de agua, estimación del aislamiento térmico además de estimación del aislamiento acústico. Fueron realizados también ensayos a compresión. Para efectuar la prueba a compresión fue necesario la utilización de un maquina universal marca “Forney” cuya capacidad es de 150 toneladas.

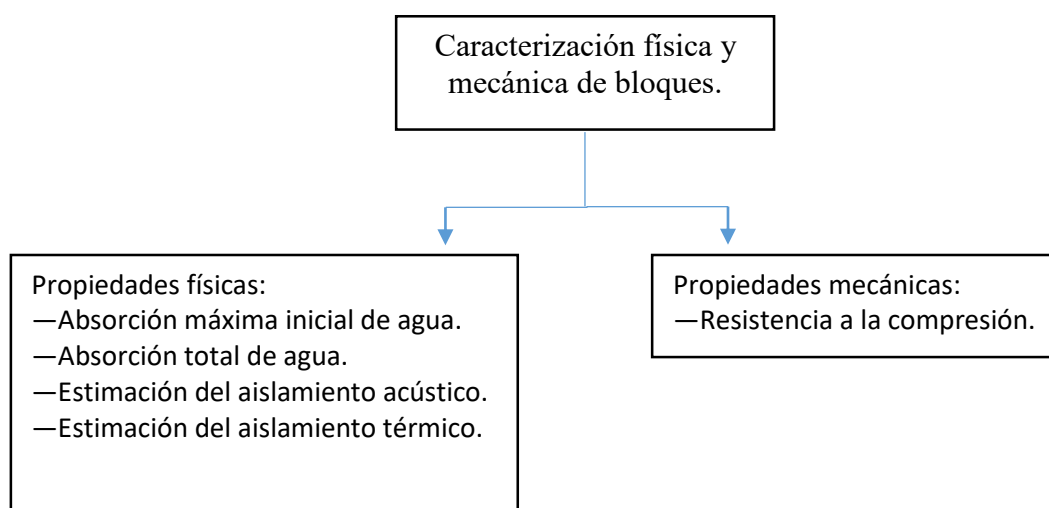


Figura 17. Caracterización física y mecánica de los bloques elaborados.

7.3.1 Determinación de la absorción máxima inicial de agua y absorción total de agua NMX-C-037-ONNCCE-2013

7.3.1.1. Absorción máxima inicial de agua

Es la cantidad de humedad que absorbe un espécimen al ser sumergido en un recipiente lleno de agua a solo 5 mm de altura. Esta prueba tienen una duración en la que el espécimen debe estar sumergido en tal cantidad de agua por 10 minutos. Es necesario mantener el nivel de humedad constante dentro del recipiente y el resultado de dicha prueba es expresado mediante un coeficiente de absorción.

Para llegar a la determinación de la absorción máxima inicial se debe efectuar las mediciones de largo y ancho que posea el espécimen para lograr obtener su área. Posteriormente se efectúa el pesado los especímenes antes de someterlos a la prueba y se procede a sumergir una cara lisa en un nivel de agua que no sobrepase los 5 mm de altura por un lapso de 10 minutos.

A continuación, se recupera el espécimen removiendo el exceso de agua de la superficie sometida a la humedad y se procede a pesar de nueva cuenta el material.



Figura 18. Bloque sometido a prueba de absorción máxima inicial de agua.

Formulas:

$$C_b = (100 M) / (S \sqrt{t}) = (100 (P_1 - P_0)) / (S \sqrt{10})$$

Donde:

C_b es la absorción máxima inicial en g/min

M es el peso del agua en gramos absorbidos por el bloque durante la prueba, en gramos

S es el área de la superficie de la cara sumergida expresada en cm^2

t es el tiempo en el que el espécimen ha estado sumergido en minutos

7.3.1.2 Absorción total de agua en 24 horas

Ahora bien, los pesos de los bloques se registran ya secos y se sumergen en agua a temperatura de $20\text{ }^\circ\text{C}$ por un lapso ahora mayor, siendo este el de 24 horas. Al terminar este lapso, los especímenes se extraen y se limpia el agua superficial y se colocan para ser pesados y observar la diferencia en su masa luego de transcurrida la prueba. La absorción se expresa en porcentaje.



Figura 19. Bloques sumergidos en agua por 24 horas.

Formulas:

$$A = (M_{ss} - M_s) / (M_s \times 100)$$

Donde

A es la absorción en porcentaje

Ms es el peso seco del espécimen en kilogramos

Mss es el peso del espécimen luego de ser sumergido por 24 horas y superficialmente seco en kilogramos.

7.3.2 Determinación de la resistencia a la compresión NMX-036-ONNCCE-2013

Al efectuar esta prueba obtenemos el valor de la resistencia del material compuesto propuesto expresado en kg/cm^2 . Esta prueba es la que demanda una mayor preparación para su ejecución debido al material adicional para su cabeceo. Esto es necesario debido que la maquina universal de marca "Forney" exige que las caras que van a ser sometidas a compresión sean de características totalmente lisas y con el material adicional para cabeceo se logra a cabalidad esta exigencia.



Figura 20. Máquina universal marca "Forney" utilizada para la prueba de compresión.

7.3.2.1 Preparación de las probetas

Las probetas que se van a someter a esfuerzo de compresión en la maquina universal deben cabecearse con azufre. Existe un segundo material de cabeceo siendo este mortero de azufre pero este a diferencia con el azufre posee una resistencia a la compresión mucho mayor que el solo azufre lo que arrojaría un resultado mayor al esperado solo por la resistencia del material de cabeceo. Dicho esto es por lo que se decidió tomar el azufre como material de cabeceo.



Figura 21. Preparación de azufre para cabeceo de las piezas a comprimir.

Se utilizó una placa de cabeceo que posee medidas de 44 cm x 22.5 cm y un espesor de 3 cm. Unas placas delimitadoras para evitar que el material se desplace hacia afuera tiene como medidas las de 44 cm x 5 cm x .5 cm. Aunado a esto, se ocupó una escuadra de metal que obstruye el paso del azufre hacia afuera de la placa la cual se puede montar y desmontar cada vez que se realiza el procedimiento de verter el azufre en la placa. Sus medidas son de 43 cm x 18 cm x 1.2 cm. Fue necesario además, ocupar aceite quemado para evitar que el azufre se adhiriera a la base de la placa y así poder desmoldar con facilidad la pieza.



Figura 22. Placa de cabeceo utilizada en el proceso y escuadra de límite.

Una vez que este material es vertido, es necesario ser rápido al colocar la probeta pues de lo contrario, esta fragua rápidamente pudiendo endurecer cuando el bloque aún no está nivelado.



Figura 23. Cabeceo en proceso.

Para fines de nivelación se utilizó un nivel de burbuja para lograr equilibrar de la mejor manera la probeta. Este proceso se repite para la segunda superficie del bloque. Durante los primeros procedimientos, cuando la placa aún sigue fría, el azufre fragua más rápidamente y se complica un tanto la colocación del bloque.



Figura 24. Nivel usado para el correcto cabeceo de las muestras.

7.3.2.2 Procedimiento para la prueba

La probeta debe estar lo más centrada posible tanto a lo largo como a lo ancho debajo del cilindro que someterá a presión a la probeta. Es necesario colocar sobre la probeta, una placa de metal con dimensiones de 21.5 cm x 45 cm x 3 cm, para que la presión resulte ser aplicada de manera uniforme.



Figura 25. Placa de asiento colocada sobre los bloques al momento de realizar la prueba.

La velocidad de avance de la máquina debe ser controlada para evitar provocar una falla por impacto en el material.



Figura 26. Prueba a compresión en proceso.

El software de la máquina registra la lectura de compresión en unidades de kg/cm^2 . En la interfaz de la máquina se puede apreciar cómo va subiendo la carga. En algunos momentos durante la prueba, la lectura parece dejar de elevarse. En estos momentos se puede decir que existen micro o pequeñas fallas debido a confinamiento o pequeños espacios entre las

fibras del material. Esto se debe principalmente a la compresión del material y a la composición de la mezcla. La lectura continúa subiendo hasta que se logra aplicar una carga máxima. Este es el valor que se registrar como valor final.

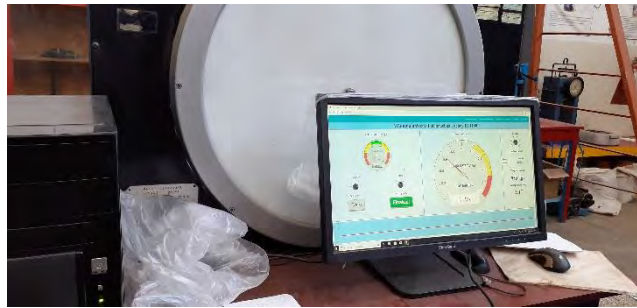


Figura 27. Software utilizado para la lectura de la carga ejercida en los bloques.

Cabe subrayar que conforme la lectura avanza por encima de la carga máxima del material, se produce una falla crítica pero aún el software sigue registrando un aumento en la carga. Esto es debido a la compresión de las fibras que evidentemente continúan soportando carga debido a un aumento en la densidad del material por el esfuerzo a compresión.

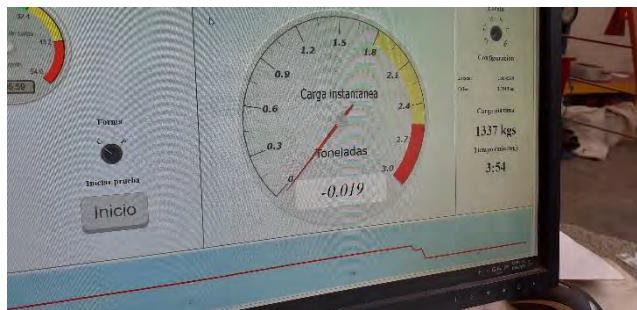


Figura 28. Detalle del software usado. La carga sigue aumentando a pesar de haber llegado ya a una falla crítica.

Formulas:

$$R = F/A$$

Donde:

R Es el valor de resistencia máximo a compresión expresado en kg/cm^2

F Es la carga máxima registrada expresada en kg

A Es el área transversal de la probeta (cm^2)

7.3.3. Estimación del aislamiento acústico del bloque propuesto contra el tabique de barro recocido

Para estimar el aislamiento acústico para este material, se fabricó una cámara con medidas de 24 cm x 24 cm x 12 cm en el nivel inferior y de 20 cm x 20 cm x 12 cm en el nivel superior dando un volumen total de $11.712 \times 10^3 \text{ cm}^3$, esto debido a que los bloques se

debieron distribuir de manera que pudiera cerrarse correctamente la parte superior de la cámara. Los bloques de material compuesto se tuvieron que dimensionar al mismo tamaño en ancho y largo que el tabique de barro recocido para guardar proporciones similares. Dentro, se ha colocado una fuente de emisión sonora para observar la cantidad de sonido que logra salir de dicha cámara. La cámara fue unida con cemento para evitar que las ondas sonoras salieran libremente mientras que las juntas donde se colocó la tapa para introducir la fuente de sonido fueron selladas con bolsas de arena para evitar que el sonido escapara por esos sitios libremente.



Figura 29. Cámara elaborado para estimar el aislamiento acústico del material compuesto.

La prueba ha sido diseñada de esta manera debido a que los dispositivos para medir el pulso de onda ultrasónica —una manera de determinar la velocidad y el tiempo que tarda en pasar un pulso a través de un material sólido— no lograba confinar la onda en el material debido a su gran porosidad.

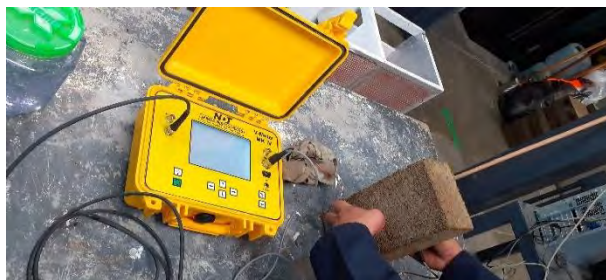


Figura 30. Impracticidad de aplicar pulso de onda ultrasónica debido a la porosidad del material.

Es por eso que dentro de la cámara se ha colocado una fuente de sonido que emitía “white noise” —lo que significa que era una fuente de sonido que mantenía el tono, aunque con pequeñas variaciones, a lo largo del periodo de prueba— mientras que en la parte exterior

se ha colocado un sonómetro para registrar la cantidad de sonido emitido hacia el exterior. Previamente se ha tomado lectura de la fuente de sonido sin ningún tipo de aislamiento para poder compararla con la lectura obtenida con el bloque de material compuesto como aislamiento.

Formulas:

$$Da = L_{dsa} - L_{dca}$$

Donde:

Da son los decibeles aislados tomando en cuenta la diferencia entre L_{dsa} y L_{dca}.

L_{dsa} es la lectura en decibeles de la fuente de sonido sin aislamiento.

L_{dca} es la lectura en decibeles de la fuente de sonido con aislamiento de material compuesto.

$$Paa = (Da / L_{dsa}) * 100$$

Donde:

Paa es el valor de aislamiento acústico expresado en porcentaje.

Da son los decibeles aislados tomando en cuenta la diferencia entre L_{dsa} y L_{dca}.

L_{dsa} es la lectura en decibeles de la fuente de sonido sin aislamiento.

Se realizaron 30 mediciones cada 15 segundos de la fuente de sonido. Por otro lado, las mediciones de la fuente de sonido con aislamiento se realizaron introduciendo esta misma en el fondo de la cámara y se colocó el sonómetro apoyado en la base superior de la cámara y se tomaron las lecturas correspondientes. Esto fue realizado para ambos materiales de la misma manera.



Figura 31. Interfaz de la aplicación "sonómetro" con la que se estimó el aislamiento acústico.



Figura 32. Detalle de la prueba de estimación del aislamiento acústico para el tabique de barro recocido.

7.3.4. Estimación del aislamiento térmico del bloque propuesto contra el tabique de barro recocido

Para lograr esta estimación, se tuvo que idear la manera para lograr tener un comparativo de la temperatura que se perdía en un sistema y la que lograba permanecer dentro de él. Debido a la falta del equipo necesario para evaluar la conductividad térmica del material propuesto así como su capacidad calorífica, se pensó en hacer la estimación de aislamiento térmico por medio de una cámara —de manera análoga a la estimación de aislamiento acústico siendo el mismo sistema que se había armado previamente y de mismas dimensiones— las juntas estaban selladas con cemento para evitar el paso del calor por algún espacio libre.



Figura 33. Cámara utilizada para estimar el aislamiento térmico del tabique de barro recocido

Fue necesario colocar una fuente de calor en el fondo de la cámara y posteriormente sellar el espacio. El espacio por donde se introducía la mano para regular la fuente de calor en los distintos niveles evaluados estaba sellado con bolsas de arena para evitar que el calor

fluyera libremente al exterior por esas uniones que no estaban selladas con cemento. Un termómetro montado en la parte superior de la cámara registra la temperatura en el interior mientras que en el exterior, pegado a una pared, un segundo termómetro registra la temperatura que genera el calor que escapa hacia afuera del sistema. Se toma como valor de comparación para estimar el aislamiento del bloque de material compuesto los valores obtenidos para la cámara de tabique de barro recocido. Se tomaron 30 lecturas cada minuto para evaluar una fase de calentamiento en el interior y se procedió de igual manera para la temperatura registrada en el exterior en dicha fase de calentamiento. Las lecturas fueron tomadas cada minuto para asegurarse que el sistema se había estabilizado. Por último se evaluó también una fase de enfriamiento en el primer y quinto nivel y se tomaron lecturas cada 5 minutos tanto del exterior como del interior hasta que el sistema llegara lo más cerca de la temperatura de inicio.



Figura 34. Cámara utilizada para estimar el aislamiento térmico del bloque de material compuesto.

La fuente de calor fue una parrilla de resistencia eléctrica de marca “BestHome” adquirida en una tienda de venta al detalle, que fue situada en el fondo de la cámara de material compuesto tanto como de tabique de barro recocido.



Figura 35. Parrilla utilizada para realizar la estimación del aislamiento térmico.

7.4 Análisis de Varianza (ANOVA)

El análisis de varianza permite analizar el efecto de una o más variables o categorías en un conjunto de datos. Cada dato puede tener varias observaciones o por el contrario tener una sola observación por tratamiento (Fallas, 2012). Nos permite analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. El ANOVA se usa para tres, cuatro o más grupos aunque con dos grupos se puede emplear también (Hernández *et al.*, 2010)

Dicho de otra forma el procedimiento de análisis de varianza trata de analizar la variación de una respuesta y de asignar porciones (componentes) de esta variación a cada una de las variables de un conjunto de variables independientes desconocidas. El razonamiento se basa en que las variables de respuesta se modifican por la variación de algún conjunto de variables independientes desconocidas (Mendenhall *et. al*, 1989)

Dentro del procedimiento de un análisis de varianza se obtienen 2 estimadores. El primero, que es denominado como S^2_B , indica que este estimador de la varianza (σ^2) se basa por completo en la dispersión entre las medias muestrales. Por otro lado el siguiente estimador de (σ^2), S^2_W está basado por completo en la dispersión dentro de cada una y en todas las muestras (Lincoln, 2000).

Formulas

$$F = S^2_B / S^2_W$$

Donde

F Estadístico de prueba F

S^2_B Dispersión entre los tratamientos.

s^2_W Dispersión dentro de los tratamientos.

Así bien que el valor S^2_B tenderá a ser grande si la hipótesis nula es falsa mientras que el valor de S^2_W no se verá influido si la hipótesis nula es verdadera o falsa.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos después de haber sometido los especímenes de material compuesto a las pruebas de compresión, absorción máxima inicial de agua y absorción total de agua a las 24 horas. Además, se muestran los resultados de la estimación de su aislamiento tanto acústico como térmico. Los resultados obtenidos se comparan con los obtenidos por Corona, (2008). Aplicando dicha comparación en las pruebas de absorción inicial de agua y resistencia a compresión.

El cemento, al tener una concentración determinada de agua al igual que el engrudo, produjo que parte del material de matriz se asentara en el fondo al momento de prensar las muestras haciendo que no se decidiera por utilizar presiones mayores a 30 kg/m^2 . En este caso, sí fue concluyente que la presión mejoró el proceso de formación del bloque a diferencia de Corona, (2008) y no produjo fallas visibles a la hora del secado ni de manipularlos. A diferencia de lo que ocurre con una máquina de vibrado o con una prensa manual.

Al aportar almidón proveniente de la harina de trigo —para formar engrudo—, al material, se produjo una alta porosidad que tuvo como consecuencia una baja densidad ya que la mayor parte de lo que constituía el engrudo —en su mayoría agua— se evaporó, dejando una alta porosidad que para fines de ligereza resultó beneficioso.

El valor de masa media obtenido para el bloque de material compuesto ha sido de 1.498 kg mientras que la densidad media obtenida tuvo como resultado el de 478 kg/m^3 ; mientras que en el estudio de Corona, (2008) anteriormente mencionado se obtuvo una densidad de 715.5 kg/m^3 . La densidad para el tabique de barro recocido ha sido de 1352.2 kg/m^3 .

8.1. Determinación y comparación de la absorción de agua y absorción máxima inicial de agua

8.1.1 Absorción máxima inicial de agua

Al existir datos previos al respecto de esta prueba, únicamente se compararon los datos obtenidos para el bloque de material compuesto fabricado en este estudio, con los obtenidos en el estudio previo de Corona, (2008).

Cuadro 3. Absorción máxima inicial de agua para tres materiales. Los valores están expresados en g/min.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Bloque de material compuesto (Bmc)	19	76.31	14.19	43.43
Tabique de barro recocido (Tbr)	11	35	6.56	20.4
Bloque de material compuesto (Corona)	8	16	3.73	10.4

Ahora bien, en el Cuadro 3, se observa una clara diferencia entre los resultados obtenidos para el bloque de material compuesto propuesto y Corona, (2008) junto con el tabique de barro recocido. Se observa que existe una amplia diferencia entre los materiales mencionados y el bloque de material compuesto, esto debido a que la mezcla pudo haber tenido una variación amplia en su porosidad debido al engrudo que contenía. Esto se observa principalmente en la desviación estándar que presenta un valor de 14.19 g/min.

El bloque de material compuesto propuesto presentó una absorción máxima inicial media de 43.43 g/ min. Por otro lado, los valores del tabique de barro recocido y de Corona, (2008) fueron de 20.4 g/min y 10.4 g/min correspondientemente. Dicho de otra manera el bloque de material compuesto propuesto absorbió 112 % más que el tabique de barro recocido y 317 % más que el bloque propuesto por Corona, (2008) en el tiempo establecido por la prueba. Esto muestra la alta cantidad de agua que absorbe el material actual por unidad de tiempo.

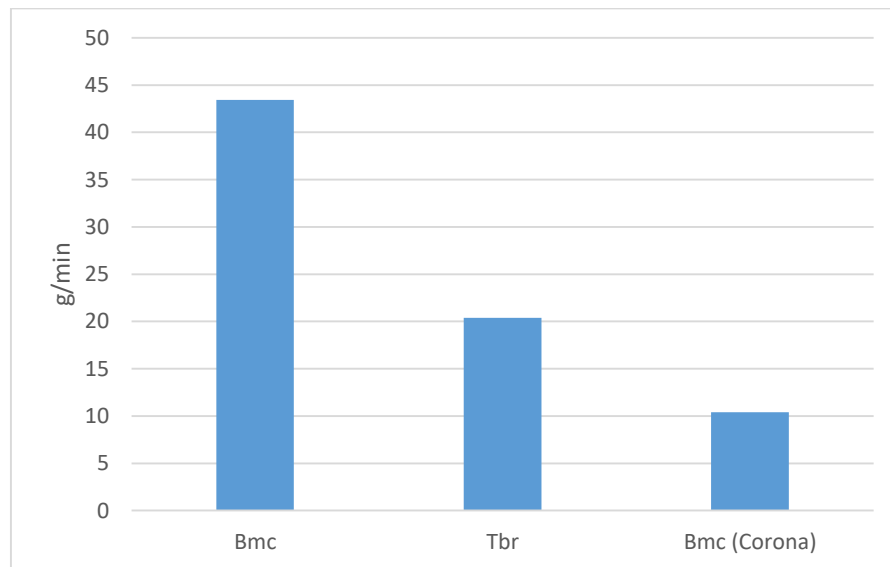


Figura 36. Absorción máxima inicial de agua para tres materiales expresada en g/min.

De acuerdo con la norma NMX-C-037-ONCCE-2013, los tabiques de barro recocido deben absorber en esta prueba un máximo de 5 g/min. Se observa que ninguno de los bloques cumple de conformidad con tal valor de aceptación.

8.1.2. Absorción total en 24 horas

La segunda parte de la cual está compuesta la prueba de absorción de agua mostró una absorción mayor del bloque de material compuesto con respecto del tabique de barro recocido y con respecto al material compuesto de la investigación de Corona, (2008).

Cuadro 4. Absorción máxima total de agua para tres materiales. Los valores están expresados en porcentaje de absorción.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Bmc	63.3	83.4	8.4	77.8
Tbr	23.8	36.8	3.09	31.92
Bmc (Corona)	37.5	107.7	18.71	68.56

El porcentaje de absorción para el material compuesto propuesto en este estudio resultó ser mayor que el porcentaje presentado para los otros materiales presentados. El material compuesto actual absorbió 13.4 % más que el bloque de material compuesto de Corona, (2008) y un 143.7 % más que el tabique de barro recocido. Los especímenes estudiados no se fracturaron al ser extraídos del recipiente para ser pesados en báscula.

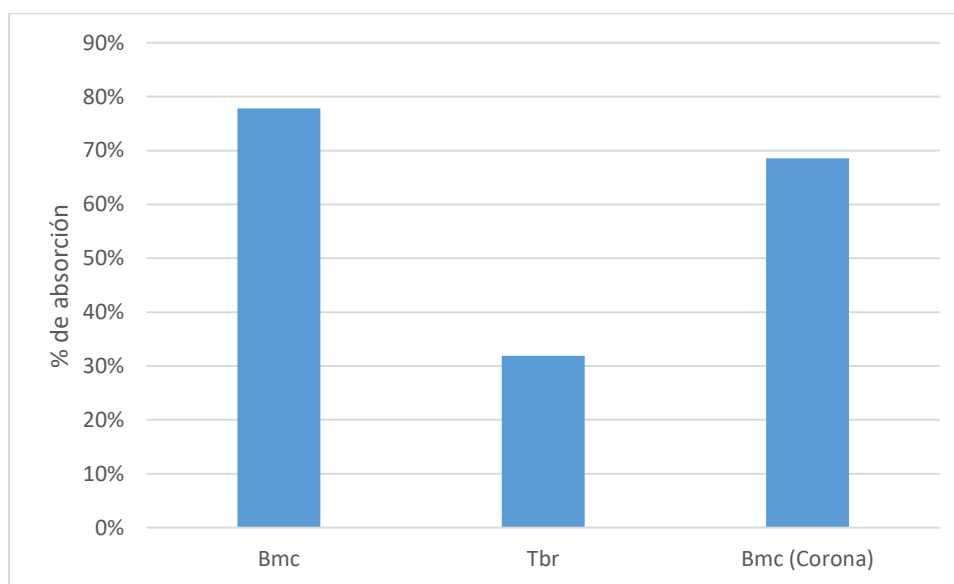


Figura 37. Absorción total de agua a las 24 horas para tres materiales.

8.2 Determinación y comparación de la resistencia a la compresión

Se compararon los resultados obtenidos para la prueba de resistencia a la compresión para el material compuesto propuesto con los datos de Corona, (2008) dando como resultado el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Resistencia a la compresión de tres materiales. Los valores están expresados en kg/cm².

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Bmc	2.98	3.21	.05	3
Tbr	24	70.6	10.8	38.3

Bmc (Corona)	5.9	14.3	1.9	9.2
--------------	-----	------	-----	-----

Al observar el Cuadro 4 podemos decir que existe una diferencia entre los valores medios de las muestras anteriormente estudiadas con el valor medio del bloque de material compuesto propuesto. Esto debido a que la media del material compuesto del presente estudio (3 kg/cm^2) como es evidente, llega a ser menor en casi tres veces que el material de Corona, (2008) y hasta doce veces menor que el valor medio del tabique de barro recocido. Estos resultados obedecen de nueva cuenta a la porosidad del material que produce una resistencia menor que los otros materiales comparados. Sin embargo, podemos subrayar que la desviación estándar tiene un valor muy por debajo en comparación con los bloques anteriores. Lo que quiere decir que el método de fabricación dio como resultado un comportamiento muy similar y por lo tanto mayormente estandarizado entre los especímenes estudiados a diferencia de ambos materiales mencionados anteriormente. Lo dicho antes, aplica solo para esta prueba.

La presión de prensado no fue concluyente con respecto a la resistencia a la compresión. La gran porosidad que tenía el material ya de por sí debido a su naturaleza y aunado a ello la adición de engrudo, hizo que la resistencia a la compresión fuera baja en comparación con los materiales mencionados en este estudio.

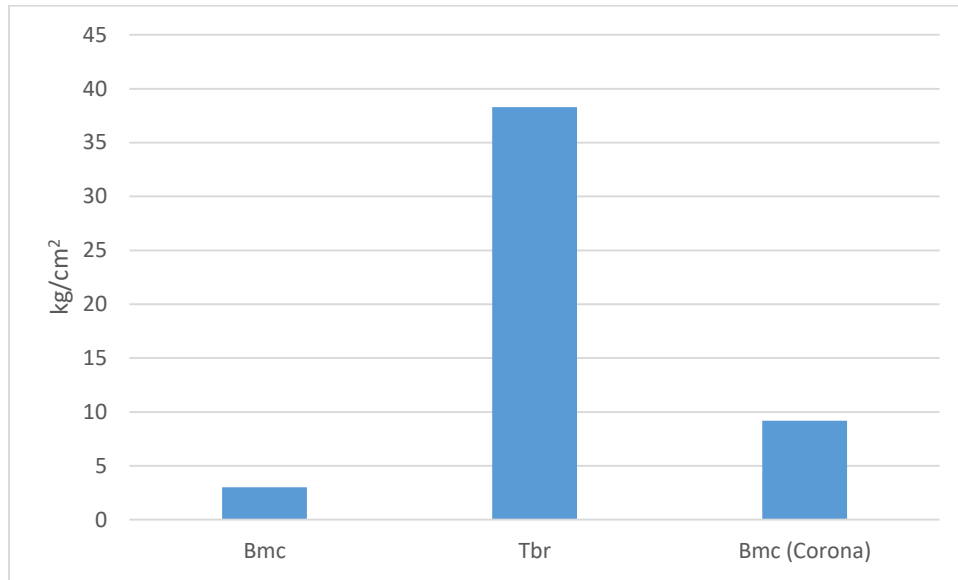


Figura 38. Resistencia a la compresión para tres materiales mencionados expresados en kg/cm^2 .

En la Figura 38 observamos la diferencia entre las resistencias de los materiales mencionados

Referente a lo que establece la norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012, la resistencia necesaria para un bloque de barro recocido debería ser de al menos 60 kg/cm^2 . Ninguno de los materiales mencionados cumple con lo establecido en la norma.

Los defectos de mezclado produjeron micro-fallas a lo largo de la prueba pero sin afectar considerablemente a la realización de esta.

8.3 Estimación y comparación del aislamiento acústico

Debido a la alta porosidad del bloque de material compuesto fue imposible realizar la prueba de pulso de onda ultrasónica —por el cual se obtiene la velocidad y el tiempo que tarda una onda en pasar por un objeto sólido—. Esto debido a que la onda no lograba “confinar” debido a la porosidad provocando que esta onda se perdiera. Dicho esto, se procedió de manera distinta. En esta prueba se midió la cantidad de decibeles que producía una fuente de sonido constante —white noise— sin aislamiento de ningún tipo y posteriormente se midió el sonido fuera de una cámara hecha tanto de tabique de barro recocido como de material compuesto, cada 15 segundos para observar la cantidad de sonido que era aislado por el sistema. La hipótesis nula se enuncia de la siguiente manera:

Ho: $Da1 = Da2$

Mientras que la hipótesis alternativa se expresa de esta manera:

H1: $Da1 \neq Da2$

Donde:

Da1: Decibeles aislados por el sistema, tabique de barro recocido.

Da2: Decibeles aislados por el sistema, bloque de material compuesto.

Cuadro 6. ANOVA para los datos recopilados para aislamiento acústico.

Análisis de Varianza ($F_{(0.05, 1, 58)} = 4$)				
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
Factor	1	59	59	7.14
Error	58	479.37	8.26	Valor P
Total	59	538.37		0.010

Siendo la variable de respuesta la cantidad de sonido medido en decibeles aislado por cada uno de los sistemas, en el Cuadro 6, podemos observar que los cuadrados medios entre tratamientos (59) presentan una cantidad ligeramente mayor a los cuadrados medios dentro de tratamientos (8.26). Observamos que no es probable que las medias de tratamiento sean iguales. Dicho de otra manera y mientras que la razón F obtuvo un valor de 7.14; comparando este valor con $F_{(0.05, 1, 58)} = 4$, se rechaza la hipótesis nula y se llega a la conclusión de que las medias de los tratamientos difieren.

Con este análisis podemos proceder a descartar la hipótesis nula Ho: $Da1 = Da2$; y por otro lado, aceptar la hipótesis alternativa H1: $Da1 \neq Da2$. De esta manera aseguramos que existe una diferencia entre las medias de tratamientos.

Los datos descritos van en función de las lecturas que marca el sonómetro con la fuente de sonido sin aislamiento (100%) que resultó en una media de 67.64 decibeles por lo que

podemos decir que el material compuesto aisló 34% del sonido que emitía la fuente sin aislamiento mientras que por otro lado, el tabique de barro recocido aisló una menor cantidad con un valor de 31 %. Dicho esto, el material compuesto aisló el sonido un 9.6% más que el tabique de barro recocido.

Cuadro 7. Aislamiento acústico de dos materiales. La tabla expresa los decibeles aislados por el material.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Lectura de decibeles para (Tbr)	11.7	25.6	3.2	20.7
Lectura de decibeles para (Bmc)	17.2	27.6	2.4	22.7

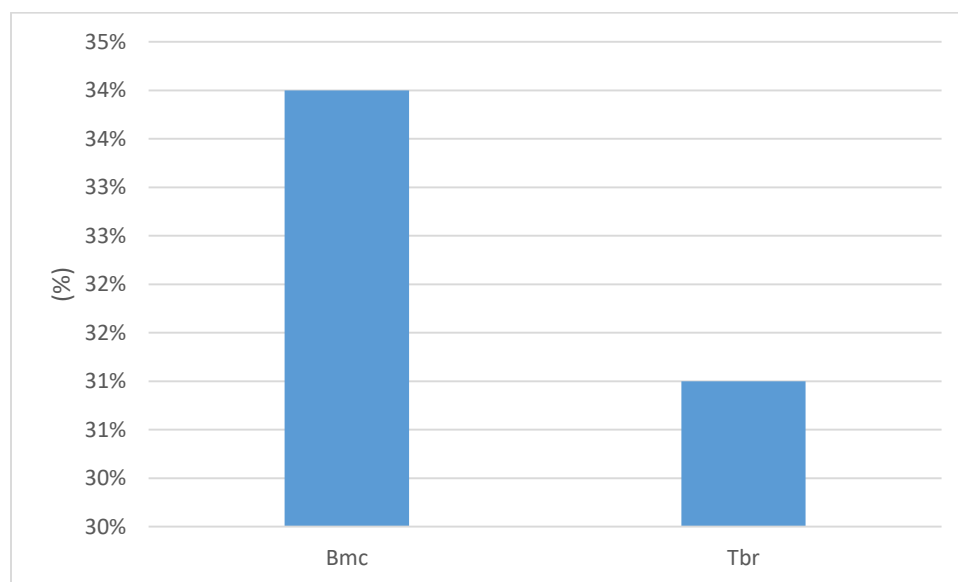


Figura 39. Porcentaje de aislamiento acústico con respecto a una fuente de sonido sin aislamiento.

8.4. Estimación y comparación del aislamiento térmico

Esta prueba se realizó para determinar cuánto calor podía mantener dentro una cámara de bloques de material compuesto en comparación con uno de tabique de barro recocido. Ambos sistemas fueron sometidos a 5 niveles de calentamiento.

Para cada una de las comparaciones entre los niveles de temperatura se realizó un análisis ANOVA para poder observar si existía o no, una diferencia significativa entre los grupos. En este caso, la variable de respuesta corresponde a la temperatura.

Para fines de una mejor observación de los datos, se presenta un cuadro para “Temperaturas interiores”, un segundo cuadro para “Temperaturas exteriores” y un último cuadro para “Proceso de enfriamiento”. Para cada nivel y comparación, se muestran gráficas en donde se aprecia el comportamiento de los datos. La hipótesis nula se enuncia de la siguiente manera:

Ho: $At1=At2$

Mientras que la hipótesis alternativa se expresa de esta manera:

H1: $At1 \neq At2$

Donde:

At1: Aislamiento térmico, tabique de barro recocido.

At2: Aislamiento térmico, bloque de material compuesto.

Cuadro 8. Valores F y p para el proceso de calentamiento (Temperaturas interiores).

Proceso de Calentamiento (Temperaturas interiores)		
F (.05, 1, 58)= 4.00		
Nivel “n”	Valores generados por análisis de varianza (ANOVA)	
	Valor F	Valor p
Nivel 1	0.00	0.967
Nivel 2	0.78	0.382
Nivel 3	0.03	0.866
Nivel 4	0.16	0.689
Nivel 5	0.34	0.562

En el Cuadro 8 podemos observar los valores de F y p que arroja el análisis de varianza, efectuado para cada una de las comparaciones en cada uno de los niveles térmicos, de los que podemos extraer la siguiente información:

Nivel 1: No existe diferencia significativa en este nivel de temperatura entre el bloque de material compuesto y el tabique de barro recocido.

Nivel 2: En este nivel de temperatura tampoco existe diferencia significativa entre el bloque de material compuesto y el tabique de barro recocido.

Nivel 3: Para este nivel de temperatura tampoco existe una diferencia significativa entre el bloque de material compuesto y el tabique de barro recocido.

Nivel 4: Se presenta en este nivel una ausencia de diferencia significativa y se concluye que su comportamiento térmico es igual.

Nivel 5: Para el último de los niveles térmicos evaluados se puede decir que no existe, tampoco, una diferencia significativa.

Cuadro 9. Valores F y p para el proceso de calentamiento (Temperaturas exteriores).

Proceso de Calentamiento (Temperaturas exteriores)		
F _(.05, 1, 58) = 4.00		
Nivel "n"	Valores generados por análisis de varianza (ANOVA)	
	Valor F	Valor p
Nivel 1	5.25	0.025
Nivel 2	7.61	0.008
Nivel 3	7.42	0.008
Nivel 4	53.45	0.000
Nivel 5	24.79	0.000

En el Cuadro 9 podemos observar los valores de F y p que arroja el análisis de varianza, efectuado para cada una de las comparaciones en cada uno de los niveles térmicos, de los que podemos extraer la siguiente información:

Nivel 1: Existe diferencia significativa entre el bloque de material compuesto y el tabique de barro recocido. Dicho esto, el tabique de barro recocido se calienta más en la pared exterior que el bloque de material compuesto.

Nivel 2: Existe diferencia significativa entre el bloque de material compuesto y el tabique de barro recocido. De igual manera, el tabique de barro recocido se calienta mayormente en el exterior que el bloque de material compuesto.

Nivel 3: De nuevo se puede observar que existe una diferencia significativa entre el bloque de material compuesto y el tabique de barro recocido.

Nivel 4: De nueva cuenta observamos una diferencia significativa entre ambos materiales.

Nivel 5: Por último, en este nivel se encuentra una diferencia significativa que indica que el tabique de barro recocido tiende a calentarse mayormente en el exterior que el bloque de material compuesto.

Al observar la información se detecta que el bloque de barro recocido conduce el calor de mejor manera que lo que lo hace el bloque de material compuesto lo que se traduce, presumiblemente, en un mejor aislamiento térmico.

Cuadro 10. Valores F y p para el proceso de enfriamiento Nivel 1.

Proceso de Enfriamiento. Nivel 1		
F _(.05, 1, 117) = 3.92		
Nivel 1	Valores generados por análisis de varianza (ANOVA)	
	Valor F	Valor p
Interior	0.10	0.748

Exterior	106.33	0.000
----------	--------	-------

Con la información del cuadro 10, que expresa el comportamiento térmico de ambos materiales en el nivel 1 de temperatura tanto en el interior como en el exterior se puede observar lo siguiente:

Interior: En el proceso de enfriamiento en el interior de ambos materiales, no existe una diferencia significativa.

Exterior: En el proceso de enfriamiento en el exterior de ambos materiales, sí existe una diferencia significativa.

Con esto podemos decir que el bloque de material compuesto pierde calor de igual manera que el tabique de barro recocido desde el interior hacia el material que encierra el sistema, aunque, en el exterior, sí existe una diferencia significativa en lo que presumiblemente se puede traducir en que el tabique de barro recocido conduce más fácilmente calor que el bloque de material compuesto.

Cuadro 11. Valores F y p para el proceso de enfriamiento Nivel 5.

Proceso de Enfriamiento. Nivel 5		
F (.05, 1, 151)= 3.90		
Nivel 5	Valores generados por análisis de varianza (ANOVA)	
	Valor F	Valor p
Interior	0.25	0.620
Exterior	24.79	0.000

Con la información del Cuadro 11, que expresa el comportamiento térmico de ambos materiales en el nivel 5 de temperatura tanto en el interior como en el exterior se puede observar lo siguiente:

Interior: En el proceso de enfriamiento en el interior de ambos materiales, no existe una diferencia significativa.

Exterior: En el proceso de enfriamiento en el exterior de ambos materiales, sí existe una diferencia significativa.

Con esto podemos decir que el bloque de material compuesto pierde calor de igual manera que el tabique de barro recocido desde el interior hacia el material que encierra el sistema sin importar el cambio de nivel de temperatura, aunque, en el exterior, sí existe una diferencia significativa en lo que presumiblemente se puede traducir en que el tabique de barro recocido conduce más fácilmente el calor que el bloque de material compuesto. Lo anterior indica que el bloque de material compuesto supone ser un buen material aislante. Dicho lo anterior procedemos a descartar la hipótesis nula $H_0: At1 = At2$; y por otro lado, aceptar la hipótesis alternativa $H_1: At1 \neq At2$. De esta manera aseguramos que existe una diferencia en el comportamiento térmico de los materiales. La cantidad de tiempo que conserva cada material el calor da mayor sustento a la hipótesis alternativa.

Aunado a lo ya descrito, se agrega que por arriba de 74 °C el bloque de material compuesto pierde calor más rápidamente que por debajo de esta temperatura. Algo similar ocurre con el tabique de barro recocido con la diferencia de que lo hace por arriba de 72° grados.

A continuación se muestran las gráficas correspondientes a cada uno de los niveles de temperatura evaluados para ambos materiales.

Nivel 1 de temperatura:

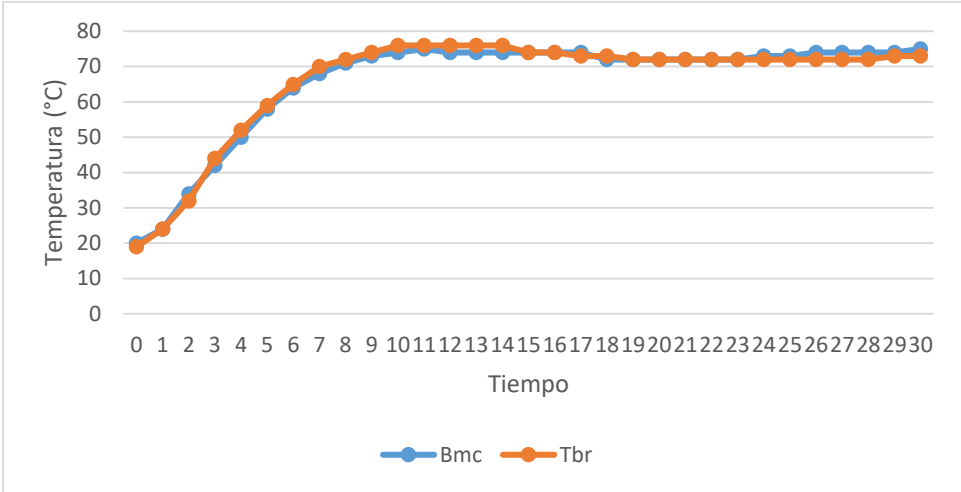


Figura 40. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

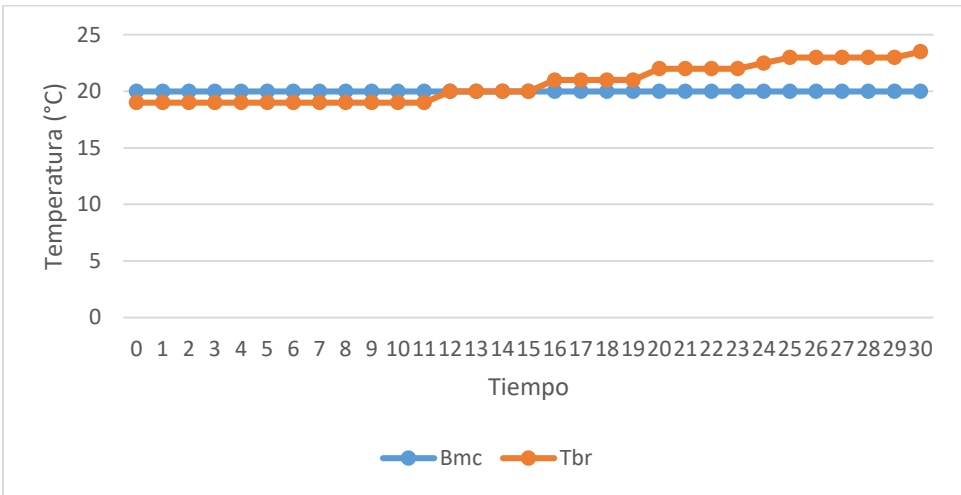


Figura 41. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el primer nivel en ambos materiales evaluados.

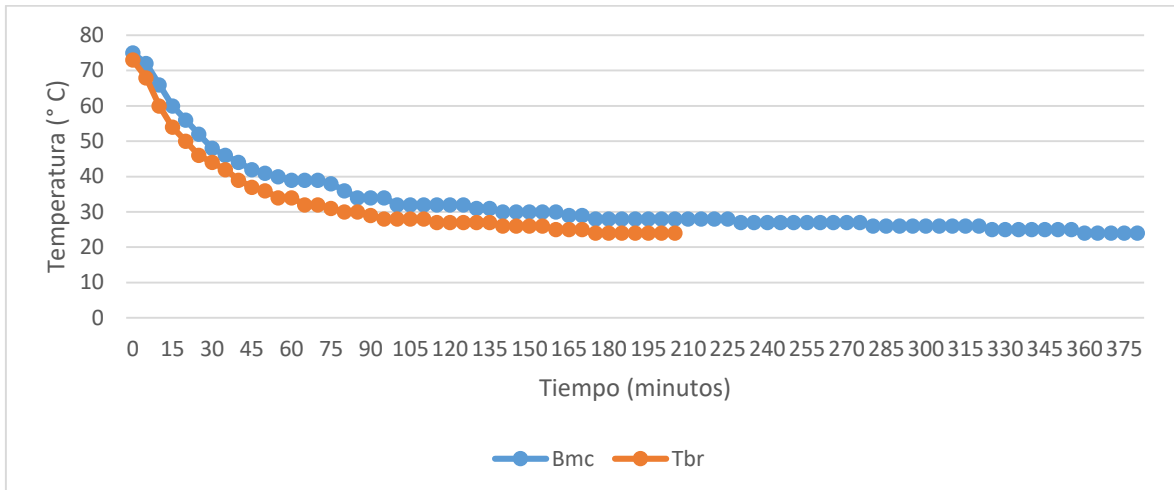


Figura 42. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

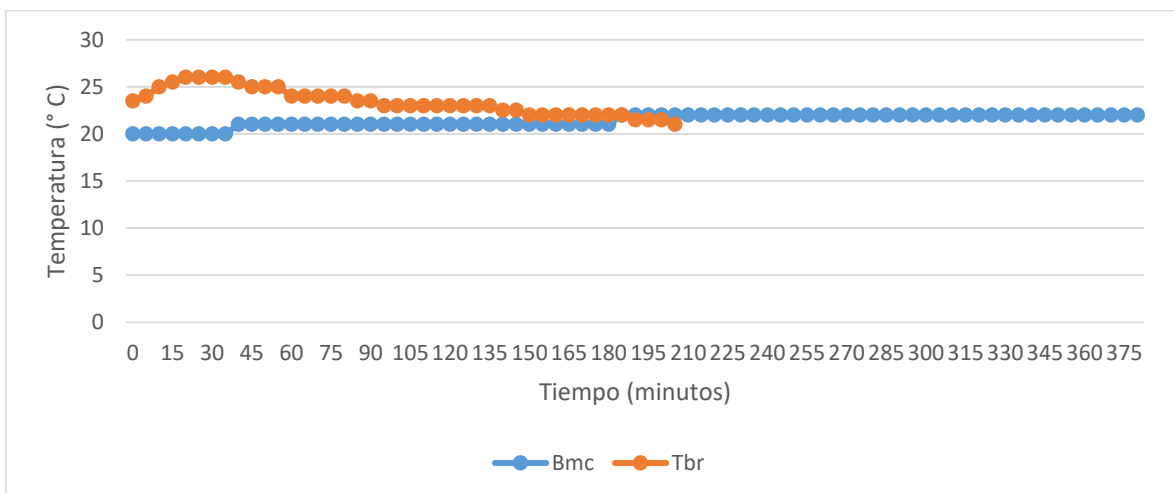


Figura 43. Temperatura exterior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

En este nivel se alcanzó una temperatura máxima de 75° dentro de la cámara de material compuesto mientras que en la cámara de tabique de barro recocido fue de 73° durante su etapa de calentamiento. Aunque no existe una diferencia estadísticamente significativa en razón del calor que se va perdiendo desde el interior hacia ambos materiales, existe una clara diferencia en cuanto al tiempo en que conservan ese calor cada uno de los materiales. Mientras que el tabique de barro recocido tarda 175 minutos en llegar a una temperatura estable (24°), muy cercana a la que inicio el proceso (19°), el bloque de material compuesto llegó a esa misma temperatura (24°), después de 360 minutos. Esto muestra que el material compuesto mantiene el calor el doble del tiempo que el tabique de barro recocido en este nivel. Se observa una ventaja del material compuesto sobre el tabique de barro recocido.

Nivel 2 de temperatura:

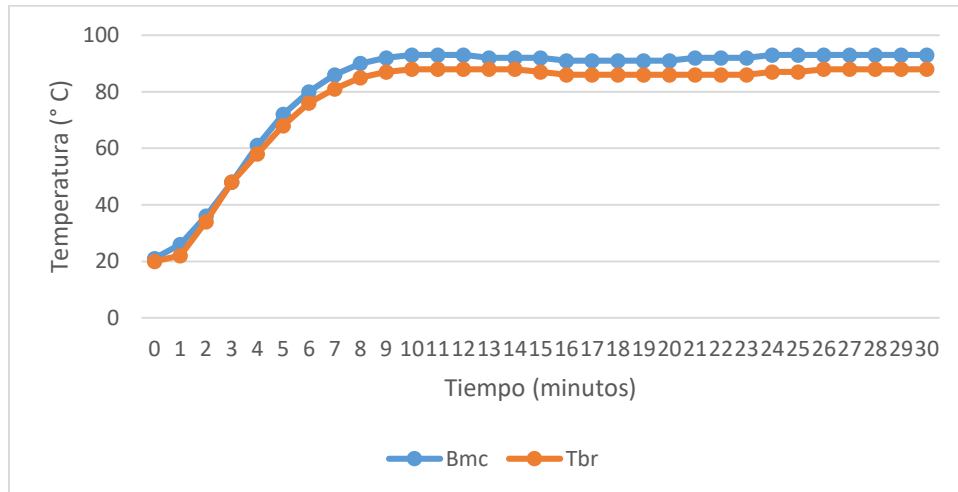


Figura 44. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el segundo nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

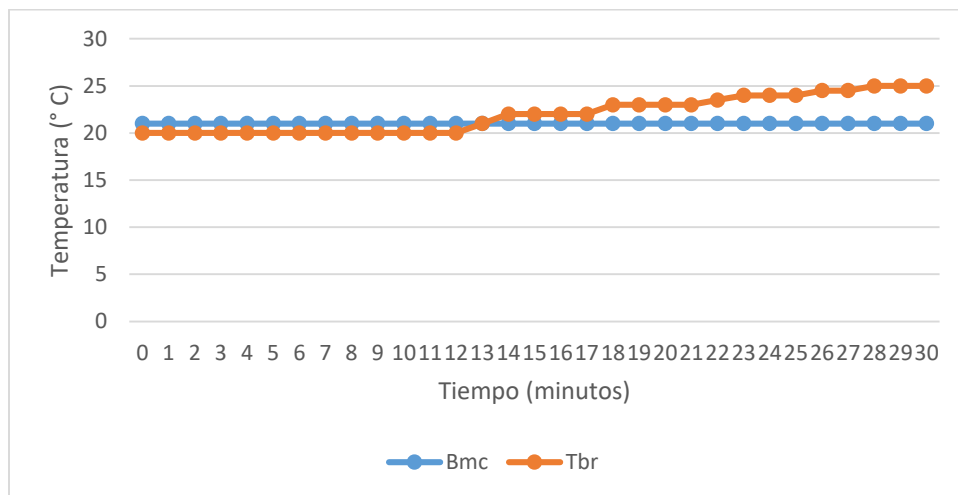


Figura 45. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el segundo nivel en ambos materiales evaluados.

En este nivel de temperatura, la temperatura máxima que se alcanzó dentro de la cámara de material compuesto fue de 93° mientras que en la cámara de tabique de barro recocido fue de 88° durante su fase de calentamiento.

Nivel 3 de temperatura:

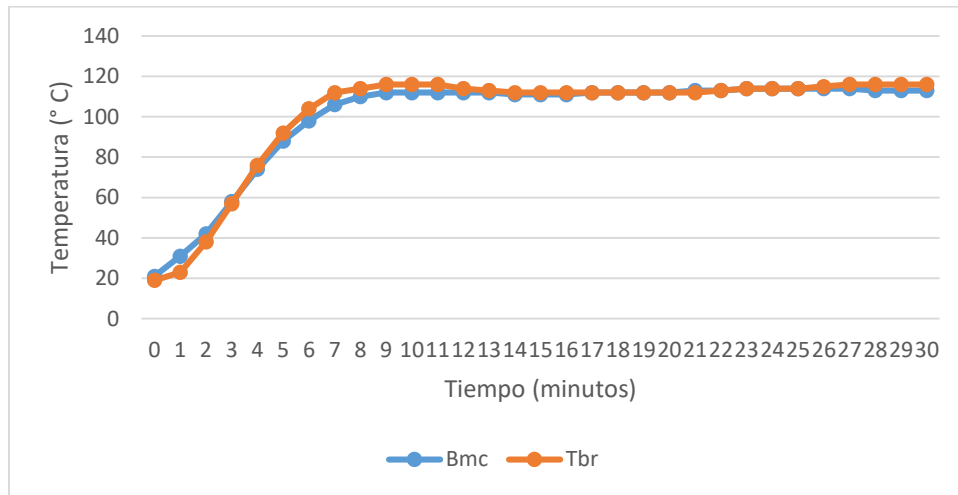


Figura 46. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el tercer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

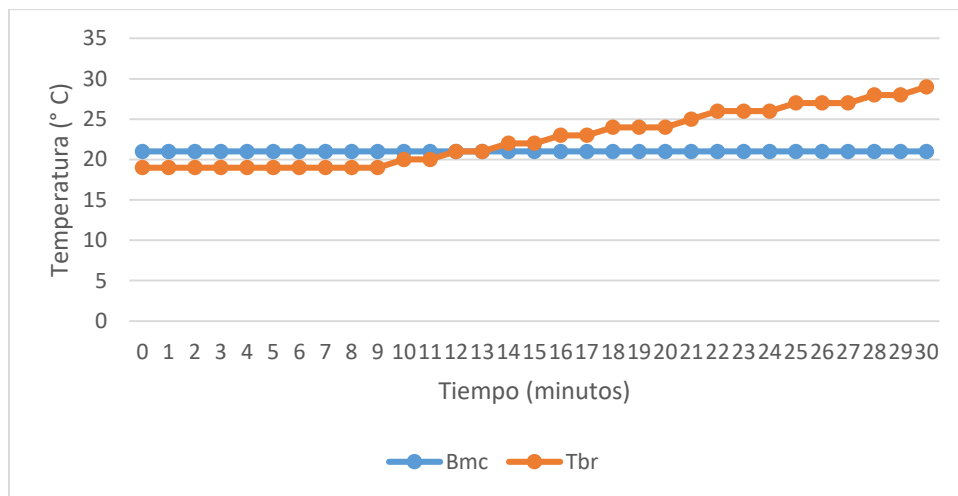


Figura 47. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el tercer nivel en ambos materiales evaluados.

En este nivel la temperatura máxima alcanzada en su fase de calentamiento fue de 116° para la cámara de tabique de barro recocido y de 113° para la cámara de material compuesto.

Nivel 4 de temperatura:

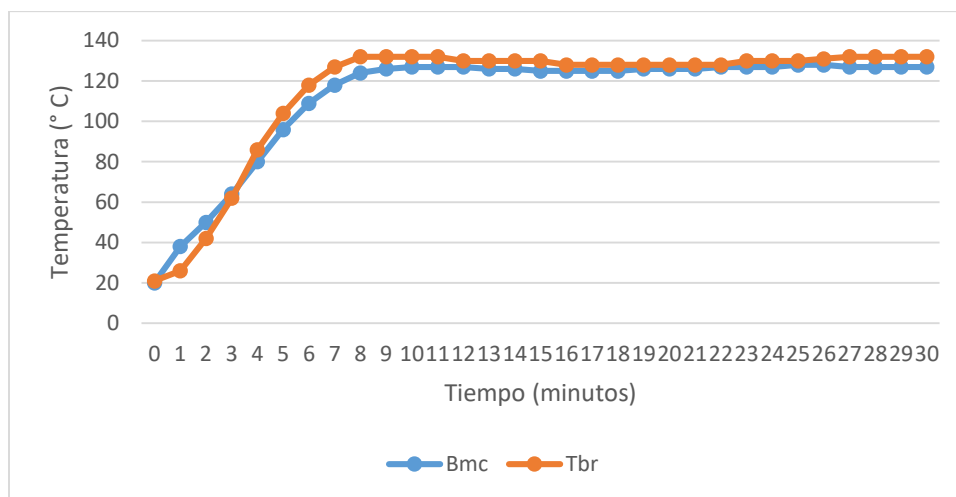


Figura 48. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el cuarto nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

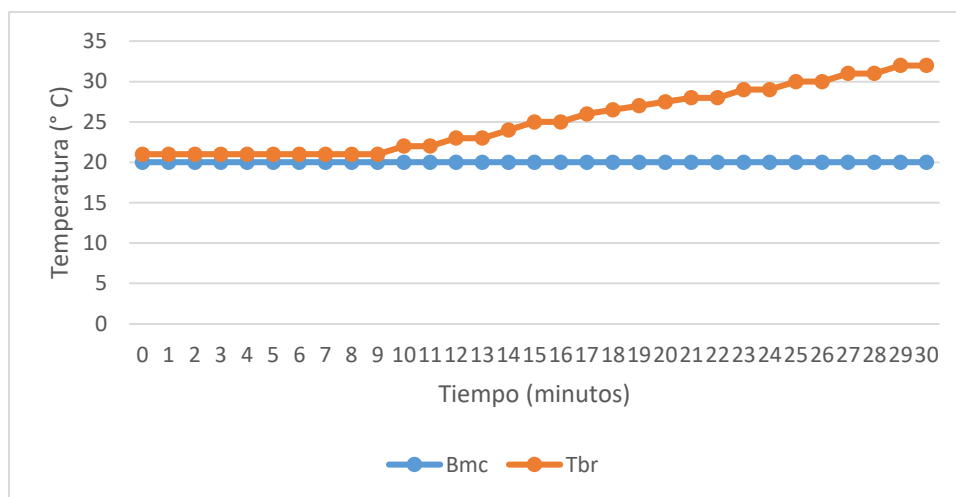


Figura 49. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el cuarto nivel en ambos materiales evaluados.

Para este nivel, la temperatura máxima alcanzada fue de 132° para la cámara de tabique de barro recocido y de 127° para la cámara de material compuesto.

Nivel 5 de temperatura:

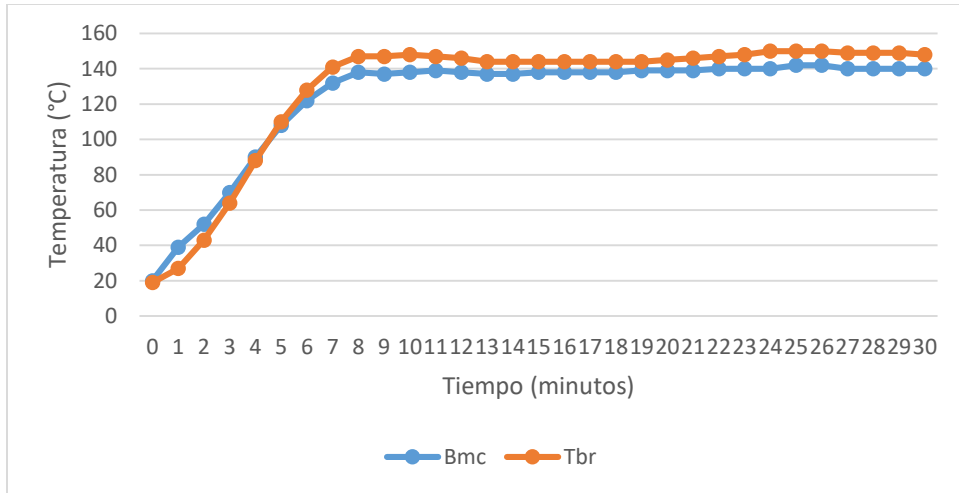


Figura 50. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de calentamiento para el quinto nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

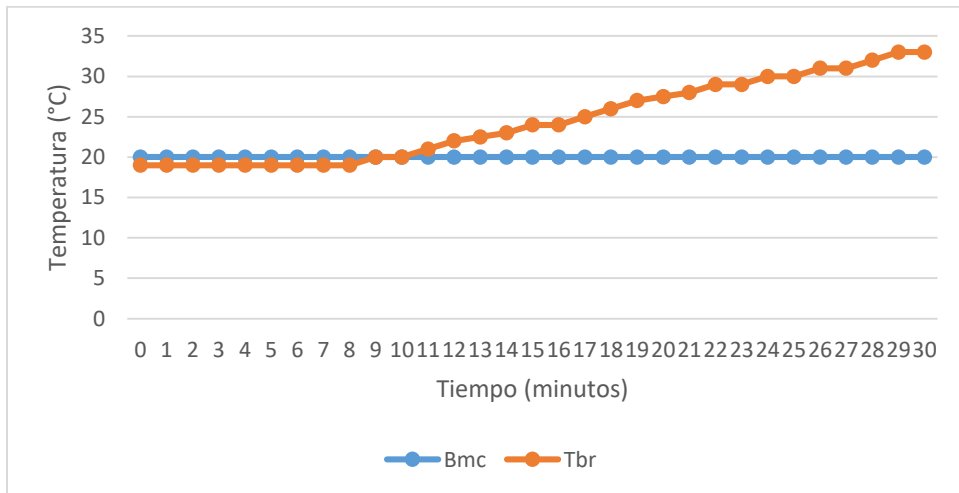


Figura 51. Temperatura en la pared exterior del sistema como función del tiempo en el proceso de calentamiento para el quinto nivel en ambos materiales evaluados.

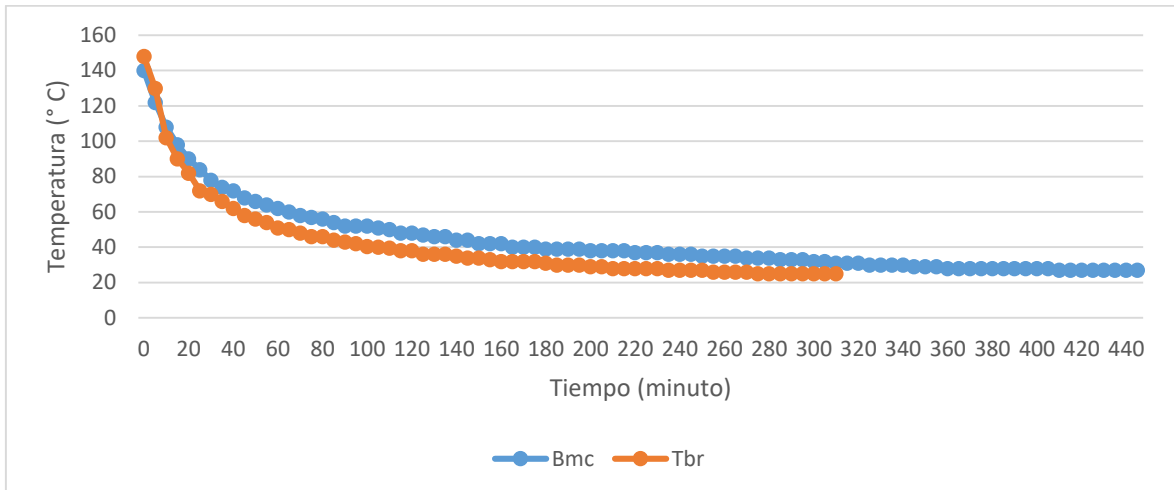


Figura 52. Temperatura interior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

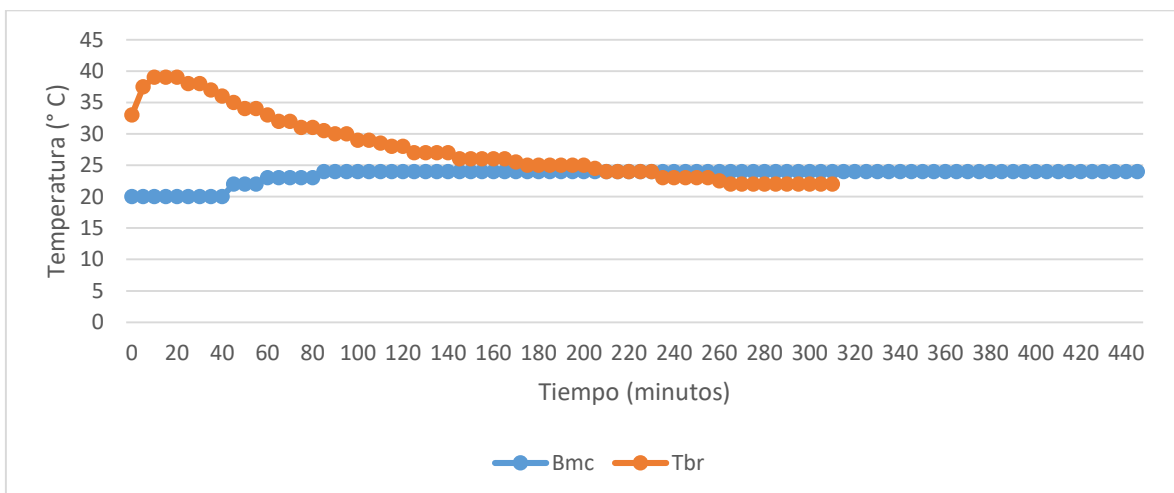


Figura 53. Temperatura exterior en función del tiempo en el proceso de enfriamiento para el primer nivel de temperatura en ambos materiales evaluados.

En este último nivel evaluado, la temperatura máxima alcanzada fue de 148° para la cámara de tabique de barro recocido y de 140° para la cámara de material compuesto. Aunque no existe una diferencia estadísticamente significativa en razón de como el sistema pierde el calor almacenado desde el interior hacia ambos materiales, existe una clara diferencia en cuanto al tiempo en que conservan ese calor cada uno de los materiales. Mientras que el tabique de barro recocido tarda 285 minutos (4 horas y 45 minutos.) en llegar a una temperatura estable (25°), muy cercana a la que inicio el proceso (19°). El bloque de material compuesto llegó a una temperatura estable (27°), después de 415 minutos (6 horas y 55 minutos). Esto significa que el bloque de material compuesto conservó el calor por 1.45 veces más que el tabique de barro recocido. Se observa una ventaja del material

compuesto sobre el tabique de barro recocido logrando almacenar el calor por un periodo más prolongado.

Como se puede apreciar, al unir los resultados obtenidos por medio del procedimiento ANOVA para cada nivel de temperatura y las gráficas mostradas con anterioridad, se resalta que, aunque la manera en que se calientan ambos sistemas no presenta diferencia significativa, sí se muestra una diferencia en la manera en que el calor generado se pierde. Esto se aprecia en las gráficas que muestran los datos registrados en la pared exterior de cada uno de los sistemas. Por otro lado, el proceso de enfriamiento nos da otra visión de lo que ocurre poniendo de manifiesto que es el bloque de material compuesto el que mantiene el calor dentro de sus estructura por más tiempo del que lo hace la estructura del tabique de barro recocido.

Además, podemos decir que el bloque de material compuesto pierde temperatura de una manera muy lenta mientras que el tabique de barro recocido de una forma más acelerada. Así, esto se observa debido a que la temperatura en el exterior del tabique de barro recocido registra 23.5 °C en el primer nivel durante la fase de calentamiento, mientras que en el quinto nivel llega a elevarse la temperatura hasta los 39 °C en la pared exterior durante la misma fase.

Ahora bien que las temperaturas que se registran en el exterior del sistema de material compuesto en el lapso de calentamiento solo sufren pequeñas variaciones, en este caso llegando a 24° C en el exterior en el quinto nivel mientras que en el primer nivel llegaba a 22 °C únicamente. Dicho esto, el material compuesto no llega a calentarse demasiado en el exterior mientras que el tabique de barro recocido lo hace, conforme se eleva la temperatura, de manera más acelerada.

Aunado a lo anterior podemos decir que el bloque de material compuesto transfiere el calor de una manera más lenta mientras que el tabique de barro recocido de una forma más rápida. El calor se almacena de una manera mucho mayor en el interior del bloque de material compuesto que en el tabique de barro recocido. Aunque, conforme aumenta la temperatura, es claro que la temperatura se elevará en mayor o menor medida en ambos materiales.

A continuación se muestran las gráficas pareadas para los dos materiales estudiados dejando como resultado un perfil de temperatura para ambos sistemas evaluados con los materiales descritos en el estudio.

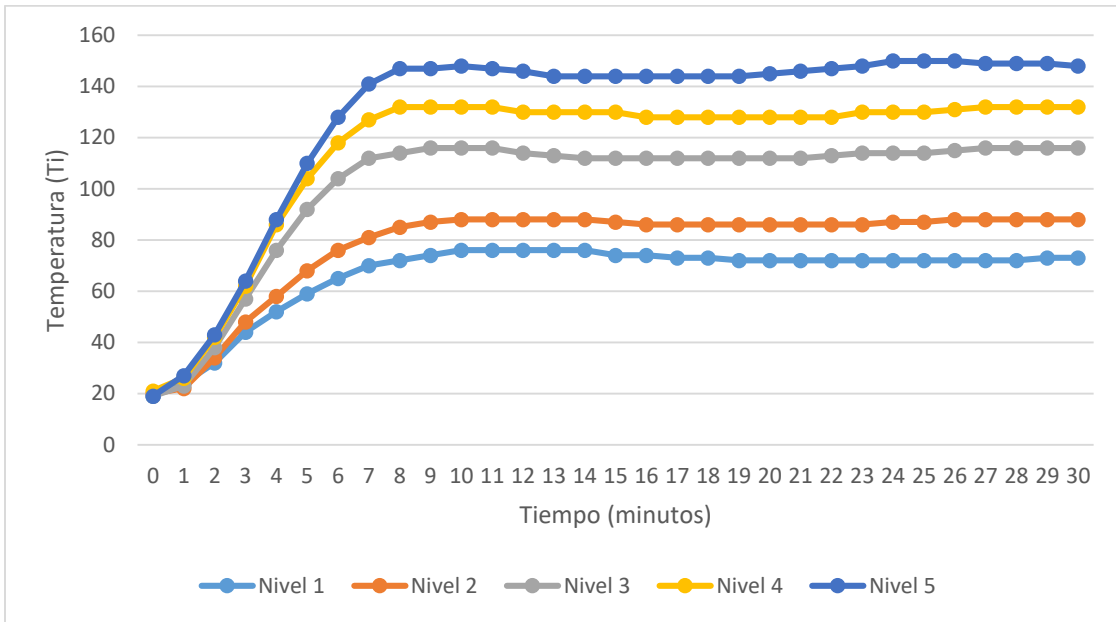


Figura 54. Perfil de temperatura en fase calentamiento para el sistema de tabique de barro recocido en 5 niveles de temperatura.

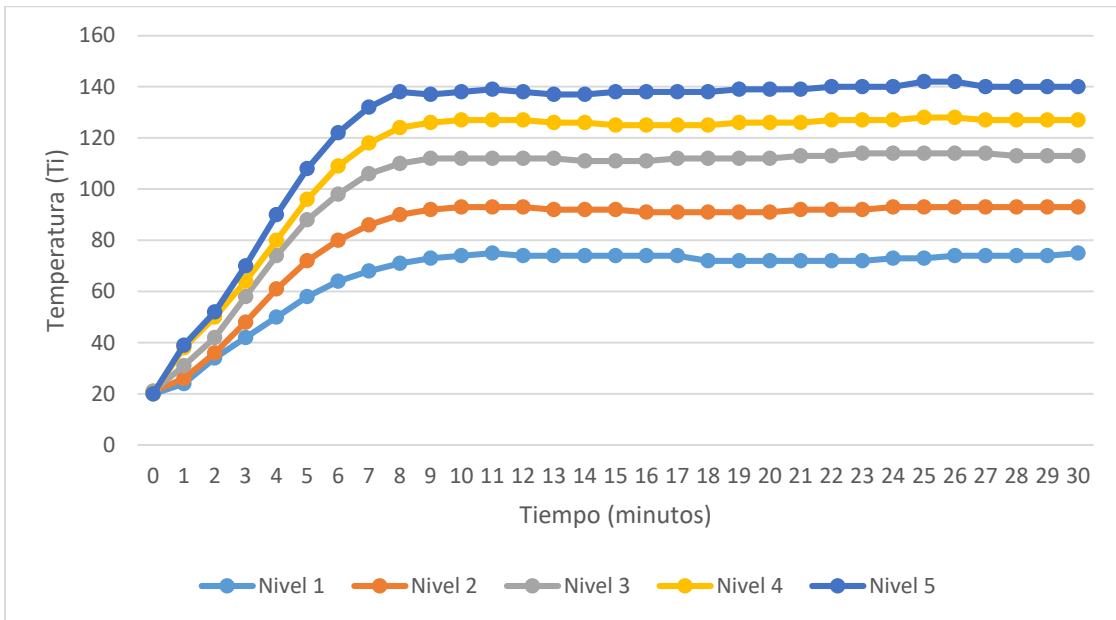


Figura 55. Perfil de temperatura para el sistema de material compuesto en 5 niveles de temperatura.

8.5 Fabricación de una prensa hidráulica

Debido a que no existía la manera de estimar el valor de la compresión del bloque, se decidió proceder a la fabricación de una prensa que fuera capaz de medir la presión a la que se sometía el material para poder obtener bloques de medidas de 14 cm x 28 cm x 7 cm siendo respectivamente ancho, largo y alto.

Para ello se diseñó una prensa hidráulica. Se establecieron sus medidas y la apariencia que podría tomar. Se tomó en cuenta que pudiera tener dos cajones para cada bloque y cada uno de ellos un gato hidráulico respectivamente.

Posteriormente se procedió a cortar cada uno de los componentes que ocuparía la prensa. Estos cortes fueron mandados a una empresa especializada en corte de placa y lamina para el dimensionado de las placas de la prensa. En este mismo lugar fue adquirido el material a procesar. Las medidas de cada placa fueron las siguientes:

- 4 placas de 9.525 mm de grosor x 28 cm de largo x 14 cm de ancho.
- 2 placas de 9.525 mm de grosor x 29 cm de largo por 20 cm de ancho.
- 2 placas de 9.525 mm de grosor x de 42 cm de largo x 20 cm de ancho.
- 2 placas de 9.525 mm de grosor x 28 cm de largo x 14 cm de ancho.
- 1 placa de 9.525 mm de grosor x 42 cm de largo x 31 cm de ancho.
- 1 placa de 9.525 mm de grosor x 40 cm de largo x 20 cm de ancho.
- 1 placa de 6.35 mm de grosor x 42 cm de largo x 30 cm de ancho.

Cada una de las placas posee las tolerancias necesarias para colocarse en su lugar correspondiente aunque en algunos casos fue necesario rebajar alguna orilla con un cortador angular chico utilizando un disco de desbaste para lograr la medida necesaria.

La soldadura necesaria para unir los elementos de la máquina fue de 60-13 de calibre de 2.38 mm. Se utilizó una planta de soldar cuyas características son las siguientes:

- Planta de soldar para electrodo revestido.
- Alimentación de 220-440 Voltios
- Rango de amperaje de 25 a 300 Amperes, Corriente Directa.
- Ciclo De trabajo del 50%

Más adelante se fue colocando las patas para sostener el cajón de la máquina así como piezas metálicas que soportaran las placas de empuje evitando que cayeran directamente sobre el gato hidráulico. Los componentes son los siguientes:

- 4 tramos de ángulo de 3.81 cm x 3.81 cm x 7.81 mm de espesor x 28 cm de largo.
- 4 piezas de 2 cm de ancho x 4 cm de largo x 7.81 mm de espesor.
- 8 soportes de placa de 2 cm de ancho por 4 cm de largo por 4.17 mm de espesor.

A lo que respecta al soporte necesario para los manómetros fue necesario ocupar lo que se refiere a continuación:

- 2 piezas de ángulo de 3.81 cm x 3.81 cm x 4.17 mm de espesor x 10 cm de largo
- 2 piezas cilíndricas —para colocar los manómetros— de 15 cm de largo por 1.27 cm de diámetro.
- 2 abrazaderas metálicas

Por otra parte, los componentes hidráulicos utilizados para la fabricación de la prensa fueron los siguientes:

- 2 mangueras hidráulicas con una resistencia de presión de 2000 psi



Figura 56. Manguera hidráulica de 2000 psi de resistencia.

- 2 terminales hidráulicas con entrada de 1.27 cm. Comúnmente llamadas “re-utilizables”.

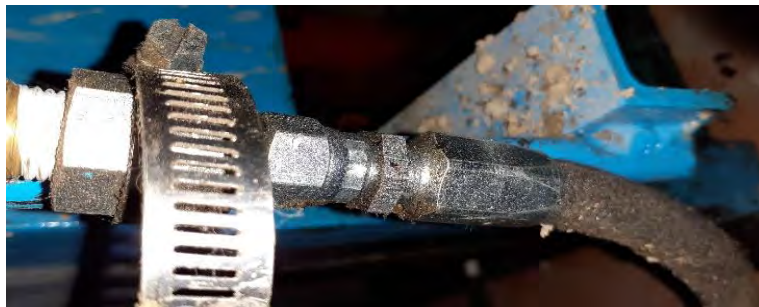


Figura 57. Terminales hidráulicas.

- 2 gatos hidráulicos de 4 toneladas



Figura 58. Gato hidráulico de 4 toneladas de capacidad marca “Truper”.

- 2 manómetros de glicerina de marca “Instrutek” con capacidad de 2000 psi



Figura 59. Manómetro de 2000 psi de capacidad marca "Instrutek".

- 2 tomas reductoras de 1.27 cm a 9.52 mm



Figura 60. Toma reductora.



Figura 61. Detalle del sistema hidráulico completo.

Otros elementos utilizados en la fabricación de la prensa fueron:

Pintura azul anticorrosiva marca “Comex”

Cinta de teflón

Discos de corte, desbaste y de lijas.

Como producto final se obtuvo la siguiente prensa que se ocupó para la elaboración del material compuesto:



Figura 62. Prensa hidráulica fabricada para la producción del material compuesto propuesto.



Figura 63. Detalle del interior de prensa hidráulica.

9. CONCLUSIONES

Proceso de elaboración

- El aserrín aglutinó bien con el cemento.
- La compresión por medio de la prensa mejoró la formación del bloque.
- No se formaron fallas visibles a la hora del secado
- El método empleado para la fabricación de los bloques resultó benéfico para la estandarización en las dimensiones de los bloques.
- El almidón dentro de la harina de trigo fomenta la existencia de una alta porosidad en el bloque de material compuesto.
- Se logró una baja densidad y esta baja densidad fue determinante en todas las pruebas.
- La presión de prensado no fue concluyente con respecto a la densidad.

Absorción inicial de agua y absorción total de agua a las 24 horas

- Hubo una alta absorción de humedad debido a la alta porosidad del bloque en contraste con los datos que presenta el tabique de barro recocido.
- El material tolera la humedad sin fracturarse igualmente que lo hace el tabique de barro recocido.

Resistencia a la compresión

- La alta porosidad del material produjo una baja resistencia a la compresión mientras que el tabique de barro recocido soporta una carga mucho más alta.
- Los defectos que pudieron haber existido en la compactación previa al prensado, produjeron micro-fallas al momento de la prueba.

Estimación del aislamiento acústico

- En este caso, se determinó que el bloque de material compuesto aisló un poco más el sonido de lo que lo hizo el tabique de barro recocido. Aunque para fines prácticos se puede considerar que el aislamiento es muy similar.

Estimación del aislamiento térmico

- En las fases de calentamiento en cada uno de los niveles no hubo una diferencia significativa por lo cual se considera prácticamente igual la manera en que

conservan el calor en el interior del sistema, ambos materiales durante el periodo de prueba (30 minutos).

- No hubo diferencia en la manera que ambos materiales perdían calor en la fase de enfriamiento. Por lo que se considera prácticamente igual.
- El bloque de material compuesto se calentó muy poco en su pared exterior. Contrario a lo que sucedió con el tabique de barro recocido.
- Hubo diferencia en la manera en que el calor se conducía a través del material una vez adquirido calor desde el interior. Esto a favor del bloque de material compuesto.
- El bloque de material compuesto conservó el calor en su constitución interior por un periodo más largo que el tabique de barro recocido y esto debido a su porosidad.
- Ambos materiales pierden calor rápidamente desde el interior por arriba de los 74 °C.
- El material propuesto puede ser utilizado en una construcción como aislante.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar varias presiones para determinar si el prensado resulta significativo en algún punto.
- Se recomienda utilizar otro tipo de aglutinantes que no produzcan un alto índice de porosidad, para así aumentar la resistencia a la compresión así como disminuir la absorción de agua.
- Se recomienda determinar la capacidad calorífica de este tipo de materiales para lograr caracterizar de mejor manera el material y compararlo con otros materiales aislantes.
- Se recomienda determinar la conductividad térmica de este tipo de materiales para lograr caracterizar de mejor manera el material y compararlo con otros materiales aislantes.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Algara, M., Cardenas. A.I., Arista, G.J., Rodriguez, J.A. (2012). Diseño de bloques de suelo estabilizado para uso urbano en San Luis Potosí. *Academia Journals*, 4 (3), 83-87.
- Anderson, J. C., Leaver, K. D., Alexander, J. M., Rawlings, R. D. (1978). Ciencia de los materiales. México, México. Editorial Limusa.
- Barrenzuela, J. (2014). Proceso productivo de los ladrillos de arcilla en la región Piura. (Tesis de Licenciatura). Universidad de Piura. Piura, Perú.
- Cabo, M. (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción. (Tesis de licenciatura). Universidad Pública De Navarra. Pamplona, España.
- Callister, W. D., Rethwisch, D. G. (2016). Ciencia de los materiales. Barcelona, España. Editorial Reverté.
- Cemento Cruz Azul. (2019). Productos. Disponible en: <<https://cementocruzazul.com.mx/cemento-tipo-ii> > (consulta: Septiembre de 2019)
- Centro experimental de la vivienda económica. Recuperado de: <<https://www.ceve.org.ar/index.php>> (Consulta en marzo de 2019)
- Corona, J. (2008). Caracterización físico-mecánica de un material compuesto a base de aserrín y cemento. (Tesis de maestría). Universidad Michoacana De San Nicolás De Hidalgo. Morelia, México.
- De Pablo, L. (1964). Las Arcillas. Clasificación, Identificación, Usos y Especificaciones Industriales. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 27 (2), 49-92.
- Eco-Máquinas, (2016). Ladrillos Ecológicos Con Residuos Sólidos. Disponible en: <<https://ecomaquinas.com.br/index.php/esp/tijolos-ecologicos-com-residuos-solidos>> (Consulta en marzo de 2019)
- Eskin, M. (1990). Biochemistry of foods. (2da edición). E.U.A, San Diego. Academic Press, Inc.
- Fallas, J. (2012). Análisis de Varianza. Comparando dos o tres medias. Disponible en: <<https://www.academia.edu>> (consulta en mayo de 2019)
- Garcés, L. (2004). Hormigón de aserrín. (Tesis de licenciatura). Universidad Austral De Chile. Valdivia, Chile.
- Gomá, F. (1979). El cemento Portland y otros aglomerantes. Barcelona, España. Editores Técnicos asociados, s.a.

Hernández, R., Fernandez, C., Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. (5ta edición). México, México. McGraw-Hill.

Lincoln, L. C. (2000). Introducción a la estadística. México, México. Compañía editorial continental.

Love, T. W. (1996). El concreto en la construcción. México, México. Trillas.

Macuarisma, C. A., Martínez, A. R. (2010). Estudio de la resistencia a la compresión en bloques de cemento, arena y aserrín de pino caribe. (Tesis de licenciatura). Universidad De Oriente. Ciudad Bolívar, Colombia.

Mendenhall, W., Scheaffer, R. L., Wackerly, D. D. (1989). Estadística Matemática con Aplicaciones. México, México. Grupo Editorial Iberoamericana.

Neville, A. M., J. J. Brooks. (1998). Tecnología del concreto. México, México. Trillas.

Newell, J. (2011). Ciencia de Materiales. Aplicaciones en ingeniería. México, México. Alfaomega Grupo Editor.

NMX-C-036- ONNCCE-2013. Industria de la construcción —Mampostería — Resistencia a la Compresión Bloques de Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones y Adoquines — Método de Ensayo. Disponible en <http://www.onncce.org.mx> (consulta: 20 mayo 2019)

NMX-C-037- ONNCCE-2013. Industria de la construcción — Mampostería — Determinación de la Absorción Total y la Absorción Inicial de Agua en Bloques, Tabiques O ladrillos y Tabicones — Método de Ensayo. Disponible en: <http://www.onncce.org.mx> (consulta: 20 mayo 2019)

NMX-C-404-ONNCCE-2015. Industria de la construcción — Mampostería — Bloque, Tabiques O Ladrillos y Tabicones para uso Estructural — Especificaciones y Métodos de Ensayo. Disponible en <http://www.onncce.org.mx> (consulta: 15 junio 2019)

Ortiz, L., Tejada, A., Vásquez, A. (2004). Aprovechamiento de la biomasa forestal producida por la cadena monte-industria. *Revista CIS-Madera*. Parte III Producción de elementos densificados, pp. 17-32.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017), Anuario Estadístico De La Producción Forestal 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/anuarios-estadisticos-forestales> (Consulta en marzo de 2019).

Soto, G., Núñez, M. (2008). Fabricación de pellets de carbonilla usando aserrín de *Pinus radiata* (D. Don), como material aglutinante. *Revista Maderas, Ciencia y Tecnología*. Universidad De Talca. Chile 10(2), 10 p.

Vignote, S., Martinez, I. (2006). Tecnología de la madera. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa.