



**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**

Tesis

**Que para optar el grado de:
Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera**

**Presenta:
Ing. Jarinzi Corona Terán**

**Director de tesis:
Dr. José Cruz de León**

Morelia, Michoacán, 2008



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	3
3 JUSTIFICACIÓN	4
4 ANTECEDENTES	5
5 ASPECTOS GENERALES: LOS TABIQUES Y EL CEMENTO	11
5.1 Productos artificiales	11
5.2 Elaboración del tabique de construcción	14
5.3 El cemento	15
6 MATERIALES Y MÉTODOS	20
6.1 Materias primas	20
6.2 Elaboración del tabique	21

6.3 Caracterización física y mecánica del material compuesto	23
6.3.1 Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua	
NMX-C-037-ONNCCE-2005	24
6.3.1.1 Absorción máxima inicial	24
6.3.1.2 Absorción total en 24 horas	25
6.3.2 Determinación de la resistencia al fuego	26
6.3.3 Determinación de la resistencia a la compresión	
NMX-C-036-ONNCCE-2004	28
6.3.4 Conductividad acústica.....	30
6.3.5 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey	31
7 RESULTADOS	33
7.1 Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua.....	33
7.1.1 Absorción máxima inicial	33
7.1.2 Absorción total en 24 horas	36
7.2 Determinación de la resistencia al fuego	39
7.3 Determinación de la resistencia a la compresión	43
7.4 Conductividad acústica.....	46
8 DISCUSIÓN	54
9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
10 REFERENCIAS.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Producción forestal maderable	2
Cuadro 7.1 Análisis de varianza para la prueba de la absorción máxima inicial de agua.....	34
Cuadro 7.2 Prueba Tukey para la prueba de absorción inicial de agua	35
Cuadro 7.3 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados	35
Cuadro 7.4 Análisis de varianza para la prueba de la absorción total en 24 horas.....	37
Cuadro 7.5 Resultados de la prueba Tukey para la absorción total en 24 horas	38
Cuadro 7.6 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados	38
Cuadro 7.7 Análisis de varianza para la prueba de resistencia al fuego	40
Cuadro 7.8 Resultados de la prueba Tukey para la resistencia al fuego	41

Cuadro 7.9 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados	41
Cuadro 7.10 Análisis de varianza para la prueba de la resistencia a la Compresión	44
Cuadro 7.11 Prueba Tukey para la resistencia a la compresión	45
Cuadro 7.12 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados	45
Cuadro 7.13 Análisis de varianza para la prueba de conductividad acústica	47
Cuadro 7.14 Prueba Tukey para la prueba de conductividad acústica: tiempo	48
Cuadro 7.15 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados	49
Cuadro 7.16 Análisis de varianza para la prueba de conductividad acústica, Velocidad	50
Cuadro 7.17 Prueba Tukey para la prueba de conductividad acústica: Velocidad	51
Cuadro 7.18 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados	52
Cuadro 7.19 Promedios de las pruebas realizadas	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1 Clasificación de los productos artificiales	11
Figura 5.2 Clasificación de los productos cerámicos.....	11
Figura 5.3 Tipos de arcilla y sus características.....	13
Figura 5.4 Clasificación del cemento.....	18
Figura 6.1 Mezcla del aserrín con el cemento.....	21
Figura 6.2 Prensa manual	22
Figura 6.3 Secado del material compuesto	22
Figura 6.4 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración del material compuesto a base de aserrín y cemento	23
Figura 6.5 Caracterización física y mecánica de los tabiques elaborados y del tabique de control.....	24
Figura 6.6 Prueba de absorción inicial de agua	25
Figura 6.7 Quemador para pruebas de resistencia al fuego	26

Figura 6.8 Multímetro marca Fluke 179.....	27
Figura 6.9 Prueba de resistencia al fuego, espécimen con estopa de algodón	28
Figura 6.10 Placa para cabeceo.....	29
Figura 6.11 Máquina universal marca Forney	30
Figura 6.12 Equipo Sylvatest.....	31
Figura 7.1 Representación de las medias de los materiales ensayados	36
Figura 7.2 Representación de las medias de los materiales ensayados	39
Figura 7.3 Representación de las medias referentes a la resistencia al fuego	41
Figura 7.4 Temperaturas finales de ambos tabiques	42
Figura 7.5 Temperaturas en los intervalos de tiempo de ambos tabiques	43
Figura 7.6 Representación de las medias de los materiales ensayados	45
Figura 7.7 Representación de los promedios del tiempo de la prueba de conductividad acústica.....	49
Figura 7.8 Representación de los promedios del tiempo de la prueba de conductividad acústica.....	52

RESUMEN

Esta tesis propone una alternativa de uso para el residuo de la transformación primaria de la madera, el aserrín. Este residuo se acumula en los patios de almacenamiento de las industrias ocasionando una fuente de contaminación y un factor de riesgo para la generación de incendios. Además, representa una pérdida económica para los industriales.

Con la utilización de dicho subproducto, en la elaboración de tabiques de aserrín-cemento, se pretende minimizar el impacto al medio ambiente así como incrementar el valor agregado del recurso forestal maderable.

Se realizaron pruebas físicas del porcentaje de absorción de agua y absorción inicial de agua, resistencia al fuego y la conductividad acústica. La propiedad mecánica que se ensayó fue la de compresión. Los resultados obtenidos se compararon con las mismas propiedades físico-mecánicas del tabique de barro recocido.

ABSTRACT

This thesis proposes an alternative use for the residue of the primary processing of wood, sawdust. This waste is stored in the backyard storage industries causing a source of pollution, and it is a risk factor in the generation of fires. Besides, it represents an economic loss to the industry.

With the use of this product, in developing composites material is intended to minimize the impact to the environment as well as optimize the forest wood.

The tests that were used in this research are, test of the percentage of natural water absorption and initial absorption of water, fire resistance and conductivity acoustics. The mechanical property that was tested was the compression. The results obtained were compared with the same physical properties of the wall of mud annealing.

1 INTRODUCCIÓN

El término material compuesto es comúnmente usado en la literatura de productos forestales, considerando para ello un producto que es elaborado con combinaciones de chapas y tableros de partículas, que se pueden utilizar como alternativas de recubrimiento de madera aserrada. De tal manera que todos los paneles estructurales basados en madera son materiales compuestos, así como aquellas mezclas de madera y plásticos, y las mezclas de madera con sustancias inorgánicas.

El tablero de partículas es una combinación de partículas de madera y adhesivo y tiene gran aceptación para pisos en casas-habitación.

El tablero de obleas es una variante del tablero de partículas con hojuelas como elemento básico de madera.

El tablero de fibras orientadas (OSB) compite fuertemente con el tablero contrachapado en la construcción residencial y comercial.

En el año 2005, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la producción forestal maderable en el Estado de Michoacán, para madera en escuadría, fue la siguiente:

Cuadro 1.1 Producción forestal maderable.

Especie	Escuadría (m³r)	Coefficiente de aserrío (50%), (m³r)	Aserrín (50%), (m³r)
Pino	445,847	222,923.5	222,923.5
Encino	20,777	10,388.5	10,388.5
Oyamel	28,221	14,110.5	14,110.5
Total	494,845	247,422.5	247,422.5

m³r = metros cúbicos de madera en rollo.

Dentro de este contexto, y analizando el cuadro anterior, se observa que el destino de los desperdicios de la utilización y transformación de la madera referido al aserrín es acumularse en grandes volúmenes a las orillas de los caminos y aserraderos. Por otro lado, a las ramas y troncos se les puede ver en los patios de almacenamiento sin un uso definido biodegradándose y ocupando un gran volumen y espacio; y siendo un factor para la generación de incendios.

Esta situación de producción de aserrín como desperdicio, se agrava año con año y el encontrar alternativas para su utilización es uno de los grandes retos de la industria y la investigación forestal.

Se pretende, por lo tanto en este estudio, manejar como alternativa de uso, una mezcla de aserrín-cemento con la finalidad de elaborar un material de construcción similar al tabique de barro recocido, que permita utilizar los desperdicios de algunas industrias forestales, principalmente de los aserraderos, debido a que este residuo industrial se acumula en el centro de transformación creando una fuente de contaminación para el medio ambiente. Al darle un valor agregado se disminuye el deterioro del medio ambiente.

2 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Elaborar un tabique de material compuesto a partir del residuo de industrias de transformación primaria de la madera, utilizando cemento como aglutinante.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar algunas propiedades físicas y mecánicas del tabique de material compuesto; dentro de las propiedades físicas se encuentran el porcentaje de absorción de agua y absorción inicial de agua, resistencia al fuego y la conductividad acústica; y la propiedad mecánica es la compresión.
- ❖ Comparar las propiedades físico-mecánicas del material compuesto contra el tabique de barro recocido, el cual es un material de construcción tradicional.

3 JUSTIFICACIÓN

Debido a la problemática a la cual se enfrentan los industriales de la madera para realizar un aprovechamiento integral con su materia prima, los compuestos de fibra-cemento, constituidos de cemento y en este caso de aserrín, tienen la posibilidad de encontrar un mercado de aceptación.

De tal manera, que con la fabricación de tabiques de construcción se aprovecharía el aserrín, que es el residuo que se genera en la producción de madera en escuadría.

Al incorporar el residuo industrial en el sistema de producción, en este caso, para la elaboración de tabiques de material compuesto, se disminuye de manera significativa el daño al medio ambiente.

Con su inclusión se le da mayor valor agregado a la materia prima pues se optimiza su uso en la industrialización.

4 ANTECEDENTES

Se consideran tres tipos básicos de compuestos utilizando desechos de madera: a) con otras fibras vegetales, b) con plásticos y c) con sustancias inorgánicas. Los desechos de madera también pueden combinarse con materiales como vidrio o metales, pero los que han tenido mayor éxito son las tres combinaciones anteriores (Rowel y col., 1997).

Tableros compuestos a base de madera y sustancias inorgánicas

Se realizó una investigación en donde se incorporó el cloruro de calcio para acelerar el endurecimiento en tableros de virutas y cemento Pórtland, sin embargo, se obtiene un tablero corrosivo (Weatherwax y Tarkow, 1964).

Se estudiaron los efectos de la madera deteriorada y de otros inhibidores en el ajuste del cemento. La madera deteriorada es la causa probable de las fallas en las mezclas del cemento Pórtland y del pino sureño. Ni las inclusiones del duramen ni de la corteza son perjudiciales. El efecto de las mezclas de maderas inhibitorias y no inhibitorias depende del peso y del índice inhibitorio de cada madera. La madera secada en estufa reduce perceptiblemente el índice inhibitorio. No se encontró ninguna correlación significativa entre el índice inhibitorio de la madera sana y la época del año en que fue cortada (Weatherwax y Tarkow, 1967).

Los empastados minerales (cemento Pórtland) son usados en varios tipos de productos de partículas basados en madera. El más importante de estos es un producto poroso de baja densidad, producido de madera excelsior, el cual se utiliza para paneles acústicos en edificios comerciales e industriales. Existe un tipo de panel de partículas y cemento, el cual tiene excelente resistencia al deterioro, al fuego y a los insectos; se puede utilizar tanto para interiores como para exteriores. Sin embargo, su alta densidad y su dificultad de cortado comparado con el tablero contrachapado limita su utilización (Haygreen y Bowyer, 1989).

Algunos productos compuestos de madera aglutinadas con sustancias inorgánicas como el cemento Pórtland y el yeso, son resistentes al agua y pueden soportar los rigores de la aplicación en exteriores y casi todos son a prueba de fuego o altamente resistentes a él y también al ataque del hongo de la pudrición. Entre este tipo de materiales se encuentra el tablero aislante del sonido, tablero de fibra de yeso y los bloques de construcción de baja densidad de madera aglutinada con cemento (Rowell y col., 1991; Falk, 1994).

Los paneles minerales tienen un rango de densidad entre 290-1,250 kg/m³. Las fibras agrícolas pueden ser mezcladas con cemento formadas en masas y presionadas a una densidad de 460-640 kg/m³ para formar un panel (Youngquist y col., 1997).

Se probaron los tableros de partículas de baja y alta densidad aglutinados con cemento hechos convencionalmente y con inyección de dióxido de carbono contra hongos blancos (*Trametes versicolor*) y la podredumbre parda (*Postia placenta*). No fue medida la degradación de la madera (pérdida de peso). Después de 12 semanas, los hongos fueron capaces de crecer en la superficie y espacios de los tableros, a pesar de la alta alcalinidad. De la misma forma se expusieron tableros similares a las termitas (*Reticulitermes flavipes*). Todas las termitas murieron de hambre al final de la prueba ya que son incapaces de alimentarse de los tableros de cemento (De Souza y col, 1997).

Los compuestos de madera y cemento hechos con una mezcla de chispas y fibras de madera y cemento parecen tener el potencial de satisfacer la preferencia cultural por los materiales de cemento en los trópicos, necesidades de salud y seguridad (Ramírez y col., 1998).

Se realizó una prueba piloto para evaluar la posibilidad de utilizar partículas de pino sureño derivadas de los residuos de la construcción para crear un compuesto de madera-cemento adecuado para aplicaciones estructurales. Los paneles fabricados con partículas tratadas con sales de cobre, cromo, arsénico (CCA) así como de partículas no tratadas fueron cortados en muestras individuales y probados para la durabilidad de congelación-deshielo, la resistencia y la dureza. Los resultados muestran que estos compuestos pueden ser diseñados para satisfacer los requisitos de barreras de sonido en las autopistas. Los resultados también indican que estos compuestos tienen propiedades de disipación de energía que podrían tener especial aplicaciones especiales en estructuras en donde el impacto y la carga dinámica son un diseño de consideración (Wolfe y Gjinolli, 1999).

El objetivo de este estudio fue determinar si la manipulación de la época en que *Acacia mangium* es almacenada antes de su procesamiento podría mejorar su capacidad para la fabricación de tableros de aserrín-cemento. Se investigaron diferentes tiempos de almacenamiento y las propiedades mecánicas de los tableros se midieron para evaluar los efectos del tiempo de almacenamiento, el tratamiento del aserrín en el agua y el uso de cloruro de calcio (CaCl_2) como acelerador del endurecimiento del cemento. Los extractivos solubles en agua fría disminuyeron durante el almacenamiento. Los tableros elaborados con madera recién cortada presentaron propiedades inferiores. El almacenamiento de la madera de 6-12 semanas tuvo un efecto positivo sobre la rigidez de los tableros, pero no fue tan eficaz como el tratamiento en agua para mejorar el módulo a la ruptura. El almacenamiento y el uso de un acelerador mejoraron los módulos de ruptura y elasticidad (Cabangon y col., 2000).

Se midieron las temperaturas de hidratación de las mezclas de cemento, aditivos y los polvos de sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don), hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.), bambú (*Phyllostachys heterocycla* Mitf. var. *Ohwi pubescens*), kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), cáscara de arroz o paja de arroz. Se probaron los módulos de ruptura y de elasticidad de los tableros de cemento elaborados de los materiales mencionados. Hubieron correlaciones entre las propiedades mecánicas del bambú y la intensidad del clinker de cemento (Fei y col., 2000).

En un estudio realizado para evaluar los efectos de la madera tratada con CCA sobre propiedades seleccionadas de tableros de partículas aglutinadas con cemento se determinó que la madera tratada con CCA es más compatible con cemento Pórtland que la madera no tratada, resultando en tableros con mejorías de resistencia a la ruptura, enlazado interno, absorción de agua y mejoría de hinchamiento en espesor. La exposición al deterioro por los hongos del tablero fue bajo mientras que los tableros tratados con CCA no presentaron deterioro (Huang y Cooper, 2000).

Las cáscaras de arroz son un material de desecho que es bien conocido en todos los países que cultivan arroz. Un proceso reciente utiliza las cáscaras de arroz para la fabricación de paneles de construcción con el centro hueco. Los paneles tienen potencial para su uso en zonas expuestas a terremotos o ciclones, tienen una excelente capacidad de carga, absorción de sonido y resistencia al fuego (Klatt y Speiers, 2000).

Se pusieron a prueba ocho especies de eucalipto crecidos en dos sitios en el sudeste de Australia para valorar su compatibilidad con el cemento Pórtland a fin de evaluar su idoneidad para la fabricación de compuestos de madera-cemento. Las especies variaron considerablemente en su compatibilidad con el cemento, observándose que en *E. badgensis* se presentó la máxima compatibilidad. El sitio en el que los árboles se cultivan también afectó significativamente la compatibilidad de la madera con el cemento (Semple y col., 2000).

Se investigaron aditivos inorgánicos solubles e insolubles para identificar los más eficaces en el fortalecimiento de la hidratación del cemento Pórtland para la fabricación de materiales compuestos con *Acacia mangium*. Los resultados mostraron que los compuestos con la capacidad de acelerar la hidratación del cemento son los quelatos insolubles como los cloruros y nitratos (Semple y Evans, 2000).

Los extractivos de la teca (*Tectona grandis*) inhiben el fraguado del cemento y reducen su capacidad para la fabricación de compuestos de madera-cemento. El aserrín fue tratado previamente en agua fría durante 1, 2 y 3 días. Así como también se remojó en agua caliente durante 1, 2 y 3 horas. El aserrín pretratado y no pretratado se utilizó para la fabricación de tableros de madera-cemento. El cemento Pórtland fue utilizado como aglutinante (175% del peso del aserrín) y el 2% de cloruro de calcio (CaCl_2) como acelerador. La extracción en agua caliente fue más eficaz para incrementar la compatibilidad del aserrín con el cemento y aumentar su capacidad para la fabricación de tableros de madera-cemento (Sutigno, 2000).

Los compuestos de madera aglutinados con sustancias minerales son paneles moldurados o tableros que contienen aproximadamente del 10-70% de peso de partículas de madera o fibras y casi del 30-90% de peso del aglutinante mineral. Las propiedades de los compuestos son influenciadas significativamente por el cementante inorgánico, la cantidad del material maderable y por la densidad de los compuestos (Simatupang, s/f; citado por Espinoza, 2002).

En una investigación realizada se evaluó el comportamiento físico-mecánico de los tableros a base de yeso y partículas de madera comparándolos con los tableros convencionales. Determinándose que no presentaron cambios dimensionales en hinchamiento del espesor ni en el sentido longitudinal, la resistencia a la flexión fue baja así como a la tensión paralela y extracción de tornillos, con buenas propiedades acústicas y de comportamiento al fuego (Espinoza, 2002).

Los tableros de partículas de 6 mm de espesor fueron hechos con tallos de maíz, cemento Pórtland y cloruro de calcio. Los tableros se produjeron en dos proporciones de cemento-tallo del maíz y tres niveles de concentración de aditivo dando 18 combinaciones de tratamiento. Se evaluaron el módulo de ruptura, el módulo de elasticidad, hinchamiento de espesor y absorción de agua, con el fin de examinar el efecto de las variables de producción sobre las propiedades de resistencia y estabilidad dimensional. A partir de la tendencia observada, el módulo de ruptura, y el módulo de elasticidad aumentan en las mismas direcciones como las variables de producción, pero el hinchamiento de espesor y la absorción de agua tenían una relación inversa con las variables de producción. Sus efectos sobre las propiedades examinadas fueron significativos. Los tableros más resistentes y dimensionalmente estables fueron producidos con las proporciones más altas de cemento-tallo del maíz, y la concentración de aditivo (Ajayi, 2006).

La empresa MacMillan Guadiana produce un tipo de tablero de construcción elaborado con cemento (72%), madera (25%) y componentes químicos (3%); cuyas principales características son: aislante térmico-acústico, es un producto 100% estructural, resistente a los hongos, al fuego, al tiempo, al agua y al impacto y con buena maquinabilidad (MacMillan Guadiana, 2008).

5 ASPECTOS GENERALES: LOS TABIQUES Y EL CEMENTO

A continuación se presentan las características de los productos artificiales que es el grupo al cual pertenece el tabique de barro recocido así como su proceso de producción, también se presentan las características del cemento.

5.1 Productos artificiales

De acuerdo con el procedimiento y con las materias primas seleccionadas, los productos artificiales se clasifican en: aglomerados, cuando se preparan con materiales inertes, simplemente comprimidos y ligados con algún aglutinante, mediante el proceso químico de fraguado y endurecimiento; cerámicos, cuando adquieren las características pétreas por el proceso físico, al cocer las tierras arcillosas; y vidrios, los obtenidos por la fusión de ciertos óxidos (figura 5.1), (Miguel, 1960).

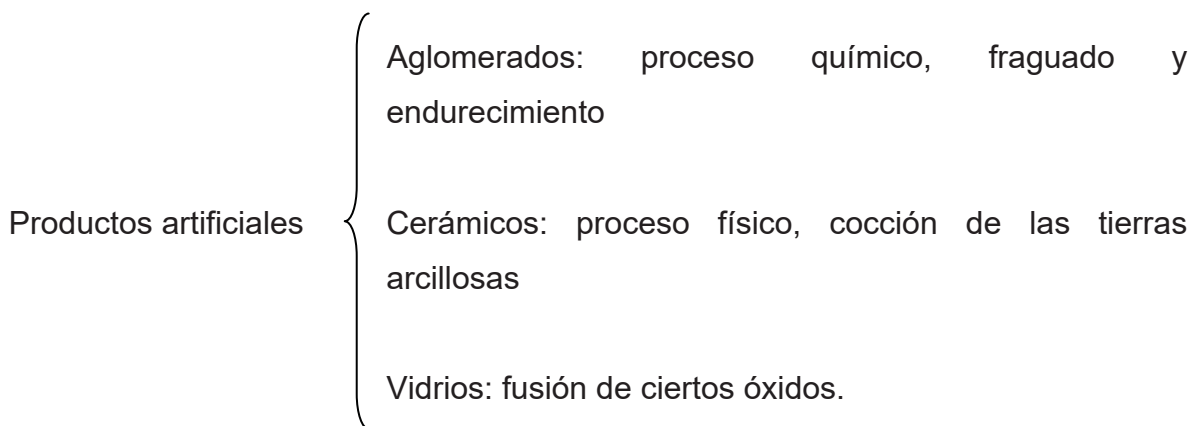


Figura 5.1 Clasificación de los productos artificiales.

Productos cerámicos

Dentro de esta designación se identifican 2 grupos importantes: la tejería que fabrica los materiales de construcción y la alfarería que elabora la cerámica fina, (figura 5.2).



Figura 5.2 Clasificación de los productos cerámicos.

Materias primas de los productos cerámicos

La industria cerámica utiliza materiales plásticos, como las arcillas y los caolines, y materiales no plásticos que sirven como desgrasantes, fundentes y colorantes. Los desgrasantes se adicionan a las arcillas para bajarles su poder graso y disminuir su plasticidad, haciéndolas que se contraigan menos al desecarse; los fundentes sirven para bajar la temperatura de cocción; y los colorantes para lograr, por medio de vidriado y esmaltado, coloraciones distintas en los productos por obtenerse.

La arcilla

Los principales ingredientes de la arcilla son el dióxido de silicio (SiO_2), la alúmina (Al_2O_3) y el agua. El dióxido puro de silicio se funde a $1,728^\circ\text{C}$ y la alúmina pura a $2,050^\circ\text{C}$. Hay varios tipos de arcilla que se conocen como caolín, arcilla refractaria, arcilla ferruginosa y arcilla calcárea.

Los caolines son, esencialmente dióxido de silicio, alúmina y agua. Son blancos y producen materiales refractarios de alta calidad y porcelanas traslúcidas, útiles y muy atractivas. El caolín se utiliza también como relleno blanco en el papel, los objetos de caucho y los de plástico (Baud, 1970).

Las arcillas refractarias no permanecen blancas después de la cocción. Sus composiciones son similares a las del caolín, pero contienen óxidos de hierro en diversas cantidades, que no sólo las oscurece, sino que además, hace disminuir ligeramente sus temperaturas de ablandamiento. Este tipo de arcilla se usa para fabricar ladrillos con una buena resistencia a las temperaturas elevadas.

Las arcillas ferruginosas y calcáreas contienen cantidades todavía mayores de hierro, álcalis y óxidos alcalino-térreos. Tienen temperaturas más bajas de ablandamiento. Se utilizan para fabricar ladrillos para la construcción, baldosas estructurales, losas para desagües y otros objetos similares (figura 5.3), (Keyser, 1993).

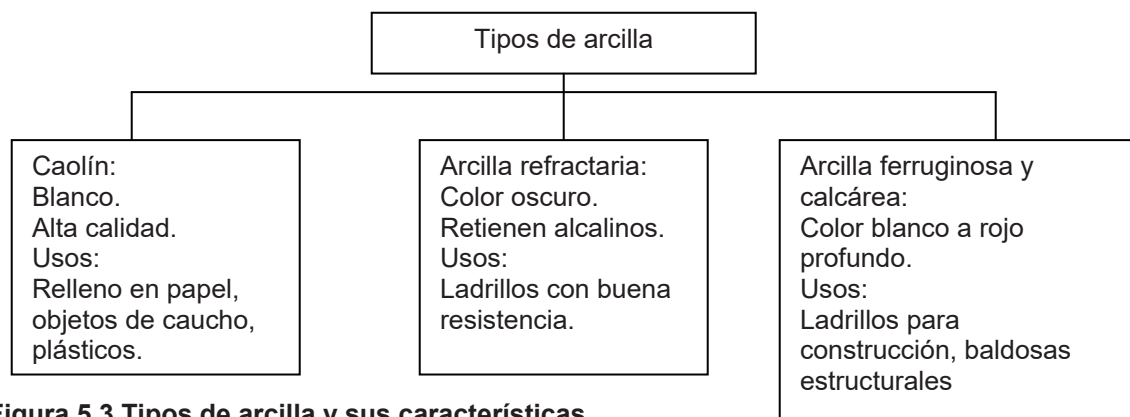


Figura 5.3 Tipos de arcilla y sus características.

5.2 Elaboración del tabique de construcción

Preparación de la pasta

Las tierras arcillosas empleadas en la fabricación de ladrillos, tejas, etc., se amasan con la cantidad conveniente de agua, agregando en los casos necesarios algún desgrasante, y se trituran mediante la acción manual o mecánica.

Moldeo

En esta etapa se da a las pastas arcillosas las formas que deben tener los productos terminados, esta labor puede hacerse de forma manual o por medios mecánicos.

En la industria rústica, el moldeo se hace a mano en moldes de madera únicos o múltiples llamados gabereras. Las dimensiones de estos moldes deben ser de un décimo a un séptimo mayor que las dimensiones finales del producto terminado, debido a la contracción que por secado y cocción sufre la pasta arcillosa.

Secado

Esta etapa tiene por objeto eliminar de las piezas moldeadas, antes de la cocción, el agua de amasado para evitar fuertes contracciones, deformaciones y desmoronamientos de la pasta por brusco secado en los hornos de cocción.

Lo anterior se puede evitar, si el secado se realiza lentamente y a la sombra, de modo que la evaporación superficial sea a la misma velocidad de salida del agua contenida en la parte central de la masa.

Cocción

En esta etapa de la fabricación los productos cerámicos adquieren su característica pétreo que hace inalterable su forma, se debe esto a reacciones poco conocidas y que toman lugar entre los elementos que componen las arcillas. La temperatura de cocción varía entre 900°C y 1,000°C, realizándose, en moles u hormigueros, e industrialmente por medio de hornos intermitentes o continuos.

5.3 El cemento

El cemento es un compuesto de cal, alúmina y sílice, finamente pulverizado, el cual, al mezclarse con agua, se combina con ella y forma una masa sólida y dura (Bárbara, 1965).

Tipos de cemento

Existen diversos tipos de cemento, que se mencionan a continuación:

El cemento natural es normalmente de un color entre amarillo y café. Se produce mediante la trituración y calcinación de roca de cemento natural, una piedra caliza arcillosa que contiene más del 25% del material arcilloso. La resistencia a la tensión y a la compresión de los morteros de cemento natural es baja. Su calidad es variable (Love, 1996).

Hay dos tipos disponibles: cemento natural Tipo N y cemento natural poroso Tipo NA. El cemento natural se usa en la preparación de cementos para mortero en albañilería, y combinado con cemento Pórtland, para mezclas de concreto (Love, 1996).

El cemento Pórtland es un cemento 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 de aproximadamente 1,400°C, que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante (Neville y Brooks, 1998).

Se fabrican cinco tipos de cemento Pórtland, a continuación se describen cada uno de ellos (Love, 1996).

ASTM Tipo I. Conocido también como cemento Pórtland normal, se adapta a todo tipo de uso. Se usa para construcción de pavimentos y aceras, edificios y puentes de concreto reforzado, vías de ferrocarril, tanques, depósitos, alcantarillas, tuberías de agua, elementos de albañilería y mezclas de barro cemento. Es el más empleado en construcciones con concreto donde no hay exposición a sulfatos presentes en suelo o en agua del subsuelo.

ASTM Tipo II. Es un cemento modificado que se usa cuando se necesita tomar precauciones contra el ataque de sulfatos moderados, como sucede con drenes donde las concentraciones de sulfato en el suelo o en los mantos acuíferos son más altas de lo normal, pero no tan severas.

ASTM Tipo III. Es un cemento que alcanza altas resistencias en un período muy breve, por lo general en una semana o menos. Se usa cuando es necesario retirar el cimbrado rápidamente para poner el concreto en operación lo antes posible, y en climas fríos, para reducir el período de protección contra las bajas temperaturas.

ASTM Tipo IV. Es un cemento de bajo calor de hidratación, usado cuando es necesario minimizar el índice y la cantidad de calor. El índice de desarrollo de la resistencia también es bajo. Se fabrica para usarse en grandes masas de concreto, como en el caso de presas de alta gravedad, donde el aumento de temperatura por el calor generado durante el proceso de endurecimiento representa un factor crítico.

ASTM Tipo V. Es un cemento sulfato-resistente. Se usa principalmente cuando el suelo o los mantos freáticos en contacto con la estructura de concreto tienen un contenido alto de sulfato. Logra su resistencia más lentamente que el tipo I.

Existen otros cementos Pórtland:

Cemento Pórtland con retentivos de aire. Estos cementos producen concretos con mayor resistencia a la congelación y al desprendimiento ocasionado por los químicos aplicados para la remoción de nieve y hielo.

Cemento Pórtland blanco. Este cemento es blanco en lugar de gris y se usa principalmente con fines arquitectónicos.

Cemento Pórtland a altos hornos. Para producir estos cementos, la escoria granulada de alto horno se entremezcla con la escoria del cemento Pórtland. Se pueden emplear en la construcción en general.

Cementos Pórtland-pozzolan. En estos cementos, el pozzolan, formado por silicio y aluminio, se mezcla con escoria de cemento Pórtland. Se usan para grandes estructuras hidráulicas, como apoyos de puentes y presas.

Cementos para albañilería. Son mezclas de cemento Pórtland, aditivos para retención de aire y materiales complementarios seleccionados para proporcionarle las características de trabajo, la plasticidad y retención de agua necesarias en morteros de albañilería.

Otros cementos especiales:

Cemento para pozos petroleros. Este cemento está hecho para endurecer bajo las altas temperaturas que predominan en los pozos petroleros muy profundos.

Cemento Pórtland 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 comúnmente para hacer mortero, aplanados y estuco (figura 5.4).

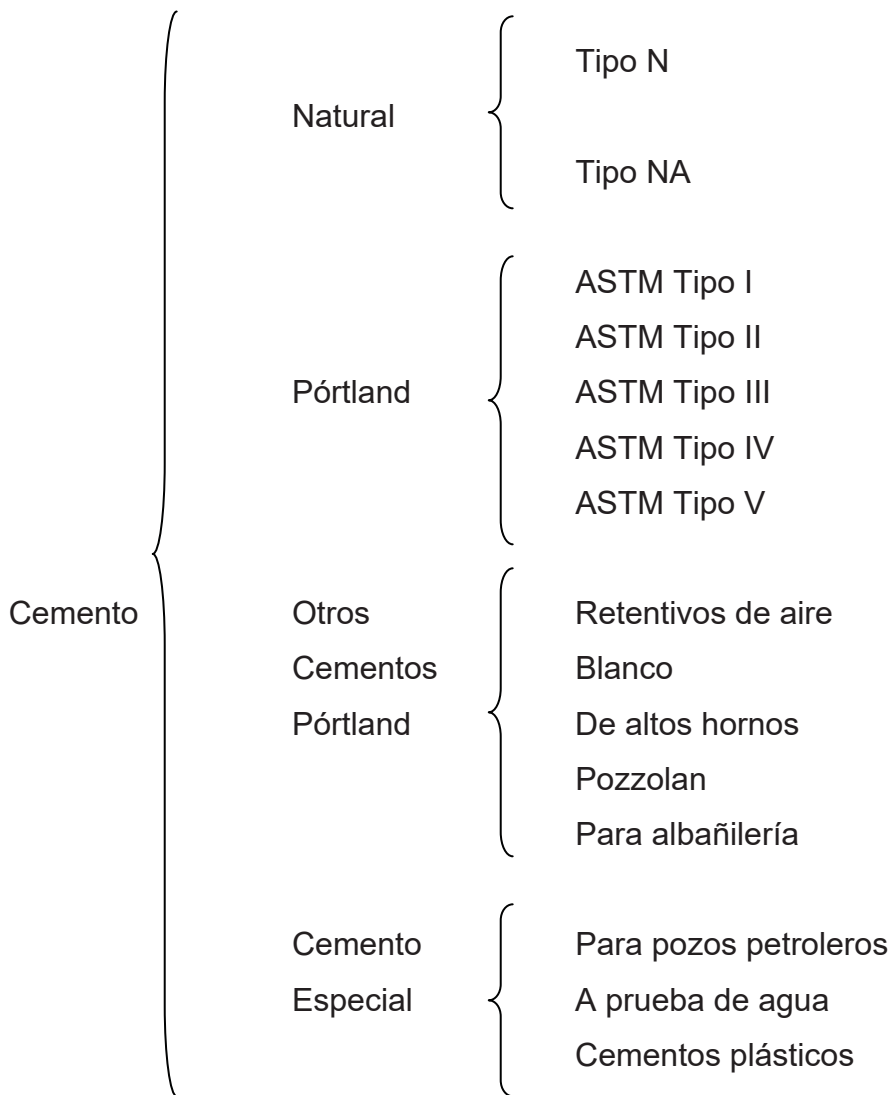


Figura 5.4 Clasificación del cemento.

Características del cemento

Los principales constituyentes de un cemento Pórtland son: la cal, sílice y alúmina, contiene además pequeñas cantidades de óxido de hierro, magnesia, trióxido de sulfuro, álcalis y bióxido de carbono (Miguel, 1978).

Al combinarse con agua, forma una pasta suave y plástica que posteriormente se consolida y endurece, presentando aspecto pétreo, debido a las reacciones químicas que se verifican entre los componentes del cemento y el agua. Estas reacciones dan origen a dos períodos denominados de fraguado y de endurecimiento.

El fraguado termina en pocas horas y el endurecimiento se considera indefinido, aunque, para los efectos de construcción se estima en 28 días, ya que pasado este tiempo, el incremento de resistencia que adquiere la masa pétreo es muy lento (Miguel, 1978).

La elaboración del cemento Pórtland consiste en materiales calcáreos y materiales arcillosos, mezclándose en proporciones determinadas.

Aunque son varias las fórmulas para obtener el cemento, la siguiente es la representativa:



6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Materias primas

El material inorgánico que se utilizó como aglutinante del aserrín fue cemento Pórtland gris Tipo I, CPC 30 R marca “Tolteca” el cual se adquirió en una tienda de materiales para la construcción.

El aserrín que sirvió como base para la elaboración del tabique, se obtuvo del aserradero “Procesadora Arévalo”, ubicado en el km. 18, carretera Morelia-Pátzcuaro. Se utilizó en su mayor parte aserrín de oyamel (*Abies sp.*).

El aserrín fue cribado en la malla 6, con la finalidad de eliminar el desperdicio y de obtener un mayor aprovechamiento del material. Posteriormente se acondicionó al aire libre a un contenido de humedad del 12%.

Se utilizó el tabique de barro recocido como control para la caracterización del tabique propuesto. El tabique de barro recocido fue adquirido en Santiago Undameo y se usaron 300 piezas en total.

6.2 Elaboración del tabique

Pruebas preliminares

Se elaboraron 12 tabiques para estimar la proporción de los materiales componentes, se hicieron pruebas preliminares con 3 mezclas proporcionales, a saber: 1:1, 1:2, 1:4 en peso, resultando como óptimo la proporción 1:1 debido a que la intención es producir un tabique que pueda ser económico y susceptible de introducir en el mercado.

Proceso de formación del material compuesto

En base a los resultados de los ensayos preliminares, se determinó el proceso y las proporciones para la elaboración del material de construcción; siendo las siguientes para elaborar un tabique de material compuesto: 625 gr de cemento y 625 gr de aserrín, estos materiales fueron mezclados con agua.

El proceso que se siguió para la elaboración del tabique fue el siguiente: primero se procedió a recolectar el aserrín del aserradero “Procesadora Arévalo”, una vez que se obtuvo el aserrín se cribó con la malla 6 para eliminar los residuos del aserrío, posteriormente se mezcló el aserrín con el cemento añadiéndole agua hasta lograr la consistencia de la mezcla (figura 6.1).



Figura 6.1 Mezcla del aserrín con el cemento.

La mezcla anterior fue depositada en una prensa manual, cuyo molde de manera previa, fue cubierto por un aceite para evitar que el tabique se adhiriera al mismo; siendo las medidas del tabique 7x14x28 cm (figura 6.2).



Figura 6.2 Prensa manual.

Posteriormente, el tabique se secó al aire libre por un tiempo de 28 días para asegurar el endurecimiento del cemento (figura 6.3).



Figura 6.3 Secado del material compuesto.

En la figura 6.4 se presenta el diagrama de flujo del proceso de elaboración del material compuesto.

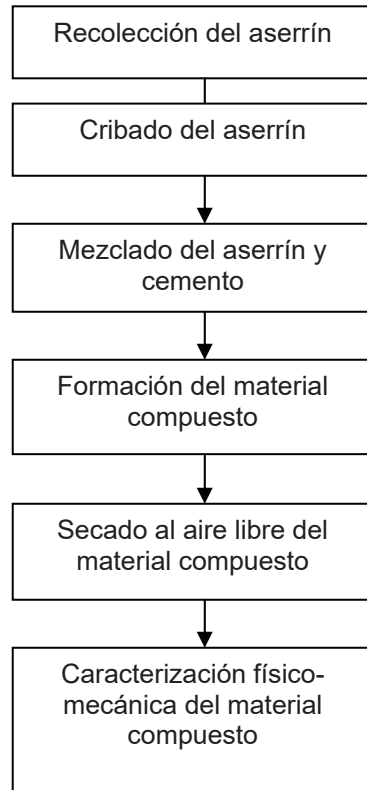


Figura 6.4 Diagrama de flujo para el proceso de elaboración del material compuesto a base de aserrín y cemento.

6.3 Caracterización física y mecánica del material compuesto

La evaluación de los tabiques de construcción, tanto del material propuesto como del rojo, se llevó a cabo en el edificio de Posgrado, de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, así como en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Siva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería Civil, dependientes de la UMSNH.

Se realizaron los ensayos aplicables a los materiales de construcción para el control de calidad, tales como la determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua, resistencia al fuego; y resistencia a la compresión, para realizar dicha prueba se utilizó la máquina universal marca Forney cuya capacidad es de 150 toneladas. Se aplicaron también pruebas de conductividad acústica haciendo uso del equipo Sylvatest (figura 6.5).

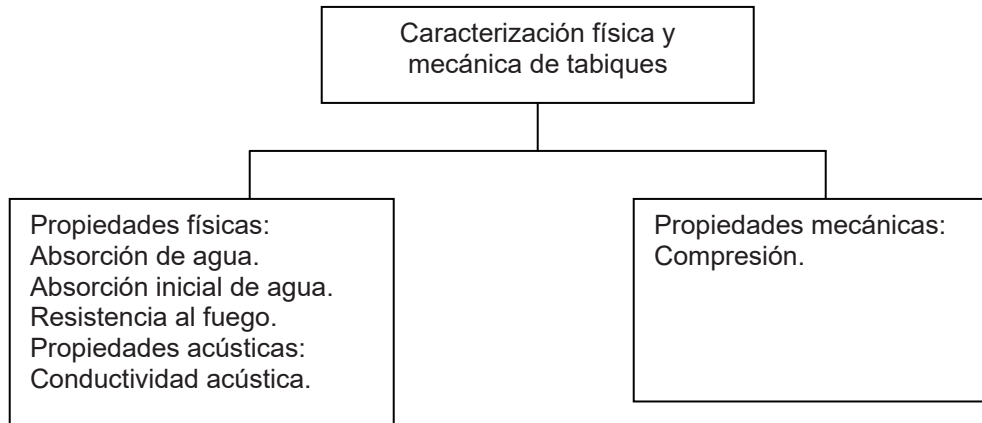


Figura 6.5 Caracterización física y mecánica de los tabiques elaborados y del tabique de control.

6.3.1 Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua NMX-C-037-ONNCCE-2005

6.3.1.1 Absorción máxima inicial

Es la cantidad de agua que absorbe un espécimen por una de sus caras bajo determinadas condiciones durante un lapso de 10 minutos de inmersión en agua potable donde ésta lo cubra 5 milímetros, manteniendo el nivel de agua constante en el recipiente y se expresa por un coeficiente de absorción.

Para determinar la absorción máxima inicial se miden las dimensiones del espécimen. Se pesa cada tabique y se sumerge una cara de acabado liso de tal manera que quede 5 milímetros por debajo del nivel del agua durante un período de 10 minutos.

Pasado el tiempo de contacto, se retira el espécimen, removiendo el exceso de agua de la superficie expuesta con un trapo. Se pesa nuevamente el espécimen (figura 6.6).



Figura 6.6 Prueba de absorción inicial de agua.

Cálculos:

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

Donde:

Cb es la absorción máxima inicial en g/min

M es el peso del agua en gramos absorbida por el bloque durante el ensayo, en gramos.

S es la superficie de la cara sumergida en cm²

t es el tiempo de inmersión en minutos.

6.3.1.2 Absorción total en 24 horas

Se registran los pesos de los bloques ya secos y se sumergen en agua a temperatura de 20°C por un período de 24 horas, terminado este período se sacan y se elimina el agua superficial con un paño absorbente y se vuelve a determinar su peso. La absorción se registra en porcentaje.

Cálculos:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Donde:

A es la absorción en porcentaje

M_s es el peso seco del espécimen en kilogramos

M_{sss} es el peso saturado y superficialmente seco en kilogramos.

6.3.2 Determinación de la resistencia al fuego

Para evaluar la resistencia al fuego en materiales de construcción las indicaciones las establece la Norma Mexicana NMX-C-307-1982. Industria de la construcción – edificaciones-componentes-resistencia al fuego-determinación. Sin embargo, como el equipo que se menciona en esta norma es costoso y difícil de adquirir, se diseñó un quemador sencillo, provisto de un mechero “Fisher”, (figura 6.7). Cabe mencionar que se consideraron las premisas que determina la norma.



Figura 6.7 Quemador para pruebas de resistencia al fuego.

Para la generación de la flama en la prueba realizada se utilizó un mechero “Fisher”. El equipo que se utilizó para la medición de la temperatura fue un multímetro marca Fluker 179 (figura 6.8).



Figura 6.8 Multímetro marca Fluker 179.

Período de resistencia al fuego

Es una medida de tiempo que abarca el lapso durante el cual un material o componente se mantiene ante el fuego bajo las condiciones especificadas de prueba y comportamiento. Para ello, se somete a un material o construcción a un alto flujo de calor proveniente de una fuente externa, con o sin contacto de la flama. De tal manera, que un material se considera resistente al fuego cuando tiene la propiedad de soportarlo o dar protección contra él. En la construcción, se caracteriza por la facultad de circunscribir un incendio o de continuar ejerciendo una función estructural determinada o ambas.

Desarrollo de las pruebas

En esta prueba se debe evaluar un muro y en condiciones determinadas, sin embargo, no fue posible realizarla debido a su costo, de tal manera que se adaptó para llevarla a cabo en cada tabique, es decir, de manera individual.

La prueba se considera aceptable si el material de construcción soporta la prueba de tiempo de resistencia sin permitir el paso de flama o gas con calor suficiente para inflamar una estopa de algodón por un período de 1 hora (figura 6.9). Las temperaturas se deben leer a intervalos de 5 minutos.

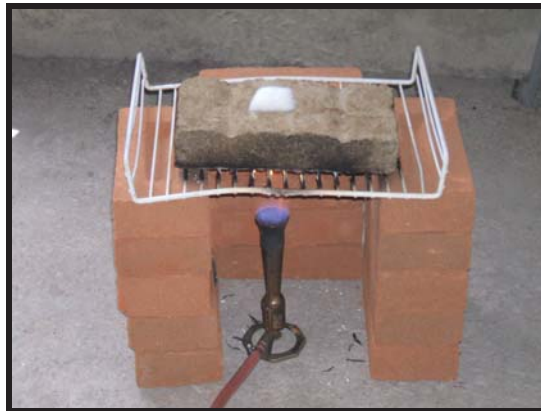


Figura 6.9 Prueba de resistencia al fuego, espécimen con estopa de algodón.

6.3.3 Determinación de la resistencia a la compresión NMX-C-036-ONNCCE-2004

Preparación de la probeta

La superficie de las probetas que van a quedar en contacto con las placas de la máquina de prueba, se debe cabecear con mortero de azufre cuya resistencia mínima a la compresión sea de 34.3 MPa (350 kgf/cm²) para lograr que sean paralelas entre sí. Este mortero ya aplicado debe dejarse fraguar el tiempo necesario.

Se utiliza una placa de 445 mm x 250 mm de 18.5 mm de espesor, con dos fronteras de placa de 6.5 mm de espesor de 50 mm de altura la cual delimita dos fronteras, para delimitar las otras (figura 6.10).



Figura 6.10 Placa para cabeceo.

Procedimiento

Se coloca la probeta con el centroide de sus superficies que va a recibir la carga alineado verticalmente con el centro del bloque de carga de acero de la máquina de prueba (figura 6.11).

Se aplica primero la velocidad de la carga que se espera como máximo, a una velocidad conveniente después de la cual se ajustan los controles de la máquina lo necesario para dar una velocidad uniforme de traslado de la cabeza móvil, de tal modo que la carga restante no se aplique en menos de uno ni más de dos minutos.



Figura 6.11 Máquina universal marca Forney.

Cálculos:

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

R Es la resistencia a la compresión en MPa (kgf/cm^2)

F Es la carga máxima en N (kgf)

A Es el área transversal del espécimen (cm^2)

6.3.4 Conductividad acústica

Se llama conductividad acústica a la propiedad del material de conducir el sonido, ésta se caracteriza por la velocidad con que el sonido se propaga en el material (Kinsler y col, 1990).

Las ondas acústicas que producen la sensación de sonido son parte de una variedad de perturbaciones de presión que se pueden propagar a través de un fluido compresible. Cuando una onda acústica que viaja en un medio encuentra la frontera de un segundo medio, se generan ondas reflejadas y transmitidas.

Debido a las diferencias en la porosidad y estructura interna de los diferentes sólidos, la naturaleza de las ondas transmitidas varía de manera significativa, lo cual influye en la onda reflejada.

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó el equipo de ultrasonido llamado Sylvatest. Este equipo propaga ondas ultrasónicas a través de un medio sólido, a una dirección y velocidad dadas y cuando estas ondas encuentran un límite con un medio distinto se reflejan o refractan (figura 6.12).



Figura 6.12 Equipo Sylvatest.

6.3.5 Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey

El análisis de varianza se utiliza para comparar la igualdad de medias cuando hay más de dos niveles de un solo factor. Se revisa asimismo la aleatorización de las corridas experimentales y el importante papel que desempeña este concepto en la estrategia global de experimentación (Montgomery, 1991).

Para determinar por pruebas una diferencia significativa entre las medias de las muestras, se compara la variación entre las muestras con la variación dentro de las muestras; cuanto mayor sea la primera en relación con la segunda, más probable será que las muestras provengan de poblaciones diferentes (Springer, 1972).

Luego entonces, con el fin de probar la igualdad de las varianzas de dos poblaciones independientes, se supone que los datos obtenidos de cada población están distribuidos normalmente, entonces el cociente S_1^2/S_2^2 sigue una distribución conocida como distribución F. En esta distribución F los valores críticos dependen de dos conjuntos de grados de libertad. La estadística de prueba F para probar la igualdad entre varianzas sería:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Donde:

- F Prueba F
- S_1^2 Varianza de la muestra 1
- S_2^2 Varianza de la muestra 2

Prueba Tukey

La prueba Tukey es un procedimiento de comparación múltiple que está basada en intervalos. Su procedimiento requiere el uso de $q_\alpha(a, f)$ para determinar el valor crítico de todas las comparaciones por pares, independientemente de cuántas medias estén en un grupo. Así, la prueba Tukey declara dos medias significativamente diferentes si el valor absoluto de sus diferencias muestrales excede:

$$T_\alpha = q_\alpha(a, f) S_{\bar{y}_i}$$

Donde:

- T_α valor crítico
- $q_\alpha(a, f)$ intervalos significativos
- $S_{\bar{y}_i}$ $\sqrt{\frac{MS_E}{n}}$; cuadrático medio

7 RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos después de analizar los especímenes de prueba, tanto del tabique de material compuesto como del tabique de barro recocido, dichos resultados son referentes a la determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua, resistencia al fuego y resistencia a la compresión, así como de conductividad acústica.

Es importante mencionar que la densidad promedio obtenida en los especímenes elaborados fue de 715.5 kg/m^3 , mientras que para el tabique recocido fue de $1,352.2 \text{ kg/m}^3$.

7.1 Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua

7.1.1 Absorción máxima inicial

Se aplicó el análisis estadístico ANOVA, planteándose la siguiente hipótesis nula:

$$H_o : Ami_1 = Ami_2$$

Esto contra la hipótesis alternativa:

$$H_1 : Ami_1 \neq Ami_2$$

Donde:

Ami_1 Absorción máxima inicial, material compuesto

Ami_2 Absorción máxima inicial, tabique de barro recocido

Para comprobar la hipótesis alternativa se realizó la prueba Tukey, la cual compara las medias de los tratamientos analizados.

En el cuadro 7.1, se pueden observar los resultados de acuerdo al análisis de varianza (ANOVA) realizado.

Cuadro 7.1 Análisis de varianza para la prueba de la absorción máxima inicial de agua.

Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F
Modelo	1490	1	1490	52.6
Error	1644.2	58	28.3	P
Total	3134.2	59		1.11E-09

En este análisis de varianza se aprecia que la media de cuadrados entre tratamientos (1490) es mucho mayor que la media de cuadrados dentro de tratamientos (28.3). Esto indica que es improbable que las medias de tratamiento sean iguales. Formalmente, la razón F obtuvo un valor de 52.6 y comparándola con $F_{\alpha_{1.58}} = 4.00$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de tratamientos difieren.

Si se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone que existe una diferencia. Por consecuencia, al rechazar la hipótesis nula $H_o: Ami_1 = Ami_2$, la hipótesis alternativa se acepta $H_1: Ami_1 \neq Ami_2$.

Una vez que se ha rechazado la hipótesis nula, es de interés efectuar la prueba Tukey, procedimiento de comparación múltiple que está basado en los intervalos. Se determina que ambos materiales son significativamente diferentes en virtud de que el valor crítico que se obtuvo fue de 2.751 gr/min, mientras que el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 9.97 gr/min. Es decir, es mayor el valor absoluto de la diferencia de promedios que el valor crítico (cuadro 7.2).

Cuadro 7.2 Prueba Tukey para la prueba de absorción inicial de agua.

Prueba Tukey			
	Promedios	Diferencia de los promedios $\bar{y}_i - \bar{y}_j$	Valor crítico
Material compuesto	10.4	9.97	2.751
Tabique de barro recocido	20.4		

Se observó que el tabique de barro recocido fue el que absorbió mayor cantidad de agua que el material compuesto para un tiempo de 10 minutos (cuadro 7.3 y figura 7.1).

Cuadro 7.3 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Material compuesto	8	16	3.73	10.4
Tabique de barro recocido	11	35	6.56	20.4

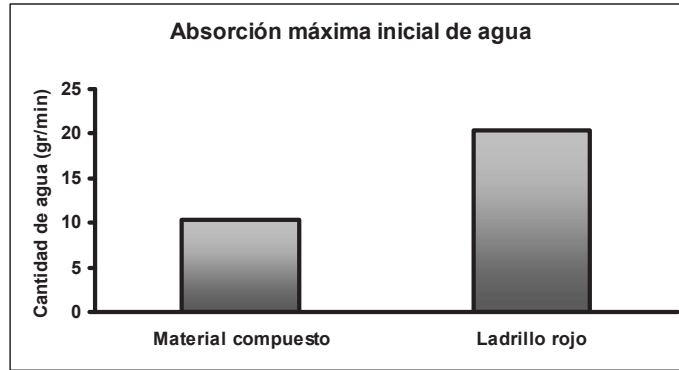


Figura 7.1 Representación de las medias de los materiales ensayados.

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005, los tabiques de barro recocido deben absorber inicialmente 5 gr/min de agua. Tanto los tabiques del material compuesto como los de barro recocido, no cumplen con ese valor aceptable de 5 gr/min pues mientras los primeros obtuvieron un promedio de 10.4 gr/min, los segundos tuvieron un valor de 20.4 gr/min.

7.1.2 Absorción total en 24 horas

La absorción total en 24 horas es medida en porcentaje, siguiéndose el mismo procedimiento que en el punto anterior, primero se estableció la hipótesis nula siendo la siguiente:

$$H_0 : \% \text{ agua}_1 = \% \text{ agua}_2$$

Esto contra la hipótesis alternativa:

$$H_1 : \% \text{ agua}_1 \neq \% \text{ agua}_2$$

Donde:

% agua₁ Absorción total en 24 horas medida en porcentaje, material compuesto

% agua₂ Absorción total en 24 horas medida en porcentaje, tabique de barro recocido

Se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al análisis de varianza realizado (cuadro 7.4).

Cuadro 7.4 Análisis de varianza para la prueba de la absorción total en 24 horas.

Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F
Modelo	20137.34	1	20137.34	111.92
Error	10434.86	58	179.91	P
Total	30572.20	59		3.66E-15

En este análisis de varianza se nota que la media de cuadrados entre tratamientos (20,137.34) es mucho mayor que la media de cuadrados dentro de tratamientos (179.91). Esto indica que es improbable que las medias de tratamiento sean iguales. Formalmente, la razón F obtuvo un valor de 111.92 y comparándola con $F_{\alpha_{1,58}} = 4.00$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de tratamientos difieren.

Si se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone que existe una diferencia. Por consecuencia, al rechazar la hipótesis nula $H_0: \% \text{ agua}_1 = \% \text{ agua}_2$, la hipótesis alternativa se acepta $H_1: \% \text{ agua}_1 \neq \% \text{ agua}_2$.

Con la prueba Tukey se determina que ambos materiales son significativamente diferentes debido a que el valor crítico que se obtuvo fue de 6.9%, mientras que el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 36.64%. Es decir, es mayor el valor absoluto de la diferencia de promedios que el valor crítico (cuadro 7.5).

Cuadro 7.5 Resultados de la prueba Tukey para la absorción total en 24 horas.

Prueba Tukey			
	Promedios	Diferencia de los promedios $\bar{y}_i - \bar{y}_j$	Valor crítico
Material compuesto	68.56	36.64	6.9
Tabique de barro recocido	31.92		

El porcentaje de agua absorbido por un período de tiempo de 24 horas fue mayor en el material compuesto que en el tabique de barro recocido (cuadro 7.6 y figura 7.2).

Cuadro 7.6 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Material compuesto	37.5	107.7	18.71	68.56
Tabique de barro recocido	23.8	36.8	3.09375	31.92

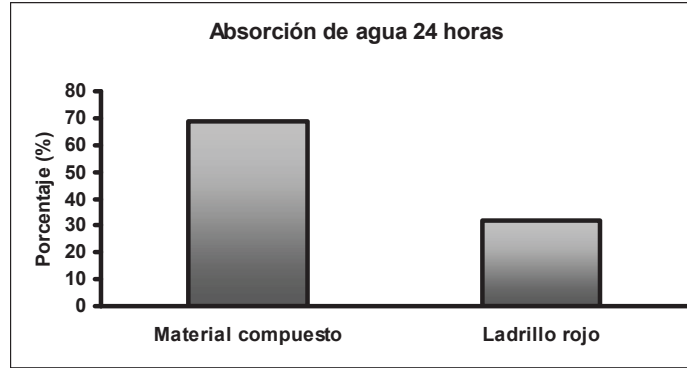


Figura 7.2 Representación de las medias de los materiales ensayados.

Teniendo como base la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005, los tabiques de barro recocido deben absorber de agua, durante 24 horas, 21%. Por lo que, tanto los tabiques del material compuesto como los de barro recocido no cumplen con ese valor aceptable de 21% pues mientras los primeros obtuvieron un promedio de 68.57%, los segundos tuvieron un valor de 31.92%.

7.2 Determinación de la resistencia al fuego

En esta prueba se midió la temperatura alcanzada por los materiales de prueba durante una hora en intervalos de 5 minutos. La hipótesis nula que se estableció fue la siguiente:

$$H_0: {}^{\circ}C_1 = {}^{\circ}C_2$$

Esto contra la hipótesis alternativa:

$$H_1: {}^{\circ}C_1 \neq {}^{\circ}C_2$$

Donde:

${}^{\circ}C_1$ Temperatura alcanzada, material compuesto

${}^{\circ}C_2$ Temperatura alcanzada, tabique de barro recocido

Se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al análisis de varianza realizado (cuadro 7.7).

Cuadro 7.7 Análisis de varianza para la prueba de resistencia al fuego.

Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F
Modelo	125638.656	1	125,638.656	122.60
Error	59436.751	58	1024.771	P
Total	185075.407	59		6.66E-16

El análisis de varianza denota que la media de cuadrados entre tratamientos (125,638.656) es mucho mayor que la media de cuadrados dentro de tratamientos (1,024.771). Esto indica que es improbable que las medias de tratamiento sean iguales. Formalmente, la razón F obtuvo un valor de 122.60 y comparándola con $F_{\alpha_{1.58}} = 4.00$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de tratamientos difieren.

Si se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone que existe una diferencia. Por consecuencia, al rechazar la hipótesis nula $H_0: ^\circ C_1 = ^\circ C_2$, la hipótesis alternativa se acepta $H_1: ^\circ C_1 \neq ^\circ C_2$.

Con la prueba Tukey se determina que ambos materiales son significativamente diferentes debido a que el valor crítico que se obtuvo fue de 16.5°C, mientras que el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 91.52°C. Es decir, es mayor el valor absoluto de la diferencia de promedios que el valor crítico (cuadro 7.8).

Cuadro 7.8 Resultados de la prueba Tukey para la resistencia al fuego.

Prueba Tukey			
	Promedios	Diferencia de los promedios $ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Valor crítico
Material compuesto	100.20	91.52	16.5
Tabique de barro recocido	191.72		

Se observó que el tabique de barro recocido fue el que registró mayor temperatura en relación con el material compuesto (cuadro 7.9 y figura 7.3).

Cuadro 7.9 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Material compuesto	62.5	220.8	38.38	100.20
Tabique de barro recocido	131.7	223.7	24.02	191.72

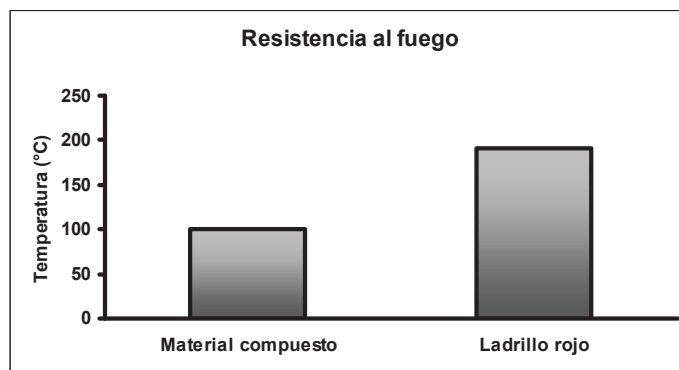


Figura 7.3 Representación de las medias referentes a la resistencia al fuego.

Se observó en el material compuesto que en el instante de colocar la pieza en el fuego, se desprendieron gases de combustión y a los 5 minutos se empezaron a formar cenizas, sin embargo; en el lapso de 1 hora no hubo inflamación de la estopa de algodón.

En cuanto al tabique de barro recocido se visualizó que hubo deflexión en las piezas al término de la evaluación durante el tiempo ya mencionado con anterioridad, y de la misma manera que en el material compuesto no hubo inflamación de la estopa de algodón.

El tabique de barro recocido como el tabique de material compuesto, presentaron una variación en temperatura durante el tiempo de prueba, observándose que el primero mostró una mayor temperatura durante el tiempo de prueba, alcanzando un promedio de 191.72°C, con un mínimo de 131.7°C y un máximo de 223.7°C mientras que el segundo presentó un promedio de 100.2°C, con un mínimo de 62.5°C y un máximo de 220.8°C (figura 7.4).

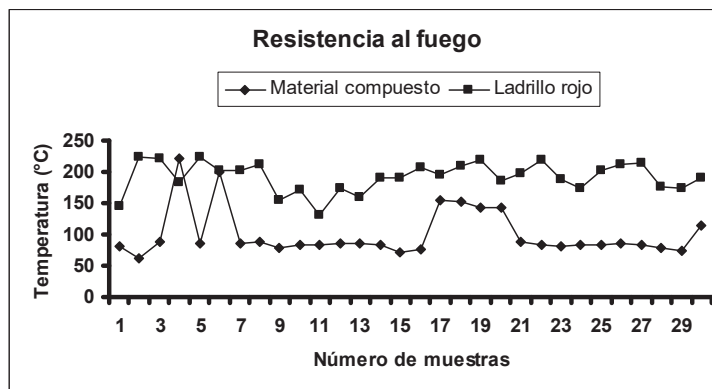


Figura 7.4 Temperaturas finales de ambos tabiques.

Los dos tipos de tabiques mostraron una tendencia similar en la lectura de la temperatura al inicio de la prueba, separándose ligeramente al minuto 20 para terminar la prueba en el minuto 60, observándose que el tabique de barro recocido tuvo la mayor temperatura (figura 7.5).

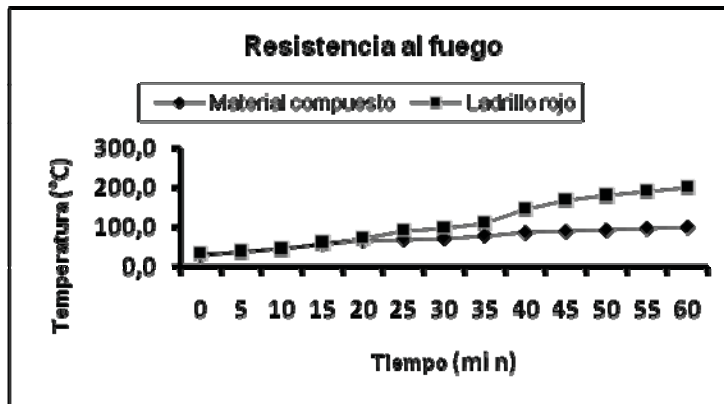


Figura 7.5 Temperaturas en los intervalos de tiempo de ambos tabiques.

7.3 Determinación de la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se midió en kgf/cm^2 . La hipótesis nula que se estableció fue la siguiente:

$$H_o : R_1 = R_2$$

Esto contra la hipótesis alternativa:

$$H_1 : R_1 \neq R_2$$

Donde:

R_1 Es la resistencia a la compresión, material compuesto

R_2 Es la resistencia a la compresión, tabique de barro recocido

Se muestran los resultados obtenidos de acuerdo al análisis de varianza realizado (cuadro 7.10).

Cuadro 7.10 Análisis de varianza para la prueba de la resistencia a la compresión.

Análisis de varianza				
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F
Modelo	12649.824	1	12649.824	209.57
Error	3500.985	58	60.361	P
Total	16150.809	59		0

El análisis de varianza denota que la media de cuadrados entre tratamientos (12,649.824) es mucho mayor que la media de cuadrados dentro de tratamientos (60.361). Esto indica que es improbable que las medias de tratamiento sean iguales. Formalmente, la razón F obtuvo un valor de 209.57 y comparándola con $F_{\alpha_{1.58}} = 4.00$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de tratamientos difieren.

Si se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone que existe una diferencia. Por consecuencia, al rechazar la hipótesis nula $H_0: R_1 = R_2$, la hipótesis alternativa se acepta $H_1: R_1 \neq R_2$.

Con la prueba Tukey se determina que ambos materiales son significativamente diferentes debido a que el valor crítico que se obtuvo fue de 15.5 kgf/cm², mientras que el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 29.1 kgf/cm². Es decir, es mayor el valor absoluto de la diferencia de promedios que el valor crítico (cuadro 7.11).

Cuadro 7.11 Prueba Tukey para la resistencia a la compresión.

Prueba Tukey			
	Promedios	Diferencia de los promedios $ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Valor crítico
Material compuesto	9.2	29.1	15.5
Tabique de barro recocido	38.3		

Se observó que el tabique de barro recocido fue el que tuvo una mayor resistencia a la compresión teniendo un promedio de 38.3 kgf/cm² mientras que para el tabique de material compuesto fue de 9.2 kgf/cm² (cuadro 7.12 y figura 7.6).

Cuadro 7.12 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados.

	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Material compuesto	5.9	14.3	1.9	9.2
Tabique de barro recocido	24	70.6	10.8	38.3

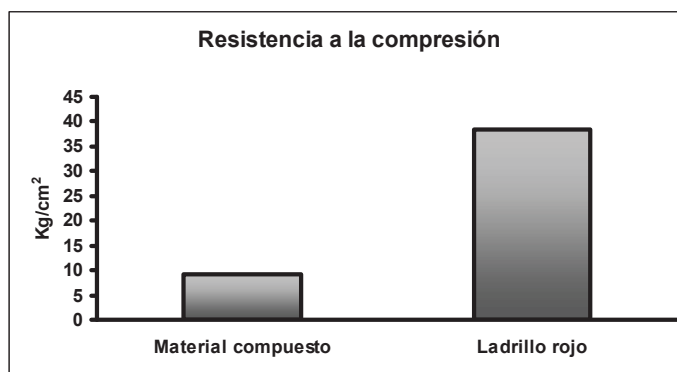


Figura 7.6 Representación de las medias de los materiales ensayados.

De acuerdo con la Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2005, la resistencia a la compresión del tabique de barro recocido, debe ser de 60 kgf/cm². Tanto los tabiques del material compuesto como los de barro recocido no cumplen con ese valor aceptable de 60 kgf/cm² pues mientras los primeros obtuvieron un promedio de 9.2 kgf/cm², los segundos tuvieron un valor de 38.3 kgf/cm².

7.4 Conductividad acústica

En esta prueba se midió el tiempo y la velocidad con que una onda ultrasónica transcurrió de un extremo al otro de cada probeta. Se realizó la medición en los tres sentidos de cada una de las 60 piezas utilizadas para el ensayo, tanto de material compuesto como de barro recocido. La hipótesis nula que se estableció fue la siguiente:

$$H_o : T_1 = T_2$$

Esto contra la hipótesis alternativa:

$$H_1 : T_1 \neq T_2$$

Donde:

T₁ Tiempo, material compuesto

T₂ Tiempo, tabique de barro recocido

En primera instancia se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza, referentes a la medición del tiempo (cuadro 7.13).

Cuadro 7.13 Análisis de varianza para la prueba de conductividad acústica.

Análisis de varianza						
	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P
Tiempo longitud	Modelo	189956.267	1	189956.267	25.73	4.32E-06
	Error	428244.467	58	7383.525		
	Total	618200.733	59			
Tiempo ancho	Modelo	113883.267	1	113883.267	37.21	9.31E-08
	Error	177497.067	58	3060.29425		
	Total	291380.333	59			
Tiempo espesor	Modelo	76683.75	1	76683.75	135.01	1.11E-16
	Error	32942.43	58	567.972		
	Total	109626.183	59			

El análisis de varianza indica que es improbable que las medias de tratamiento sean iguales debido a que, la razón F obtuvo un valor de 25.73 en el sentido longitudinal, en el ancho fue de 37.21 mientras que para el espesor fue de 135.01, comparando los valores de F calculada con $F_{\alpha_{1.58}} = 4.00$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de tratamientos difieren.

Si se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone que existe una diferencia. Por consecuencia, al rechazar la hipótesis nula $H_0: T_1 = T_2$, la hipótesis alternativa se acepta $H_1: T_1 \neq T_2$.

Con la prueba Tukey se determina que ambos materiales son significativamente diferentes debido a que el valor crítico que se obtuvo fue de 44.40 en el sentido longitudinal, el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 112.5, en el ancho fue de 28.58 y el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 87.1, mientras que para el espesor fue de 12.31, mientras que el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 71.5. Es decir, es mayor el valor absoluto de la diferencia de promedios que el valor crítico (cuadro 7.14).

Cuadro 7.14 Prueba Tukey para la prueba de conductividad acústica: tiempo.

Prueba Tukey				
		Promedios	Diferencia de los promedios $ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Valor crítico
Tiempo longitudinal	Material compuesto	443.8	112.5	44.40
	Tabique de barro recocido	331.3		
Tiempo ancho	Material compuesto	238.7	87.1	28.58
	Tabique de barro recocido	151.6		
Tiempo espesor	Material compuesto	114.1	71.5	12.31
	Tabique de barro recocido	42.6		

De la misma manera se observa que entre los tres sentidos de los tabiques es mayor el tiempo en el sentido longitudinal, que en los dos sentidos restantes. Se observó que el tabique de barro recocido fue el que tuvo un menor tiempo en el espesor teniendo un promedio de 42.6 μs debido también a la distancia recorrida. El promedio del material compuesto en el mismo sentido fue de 114.1 μs (cuadro 7.15 y figura 7.7).

Cuadro 7.15 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados.

		Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Tiempo longitud	Material compuesto	200	631	119.31	443.8
	Tabique de barro recocido	283	370	23.09	331.3
Tiempo ancho	Material compuesto	108	385	76.5	238.7
	Tabique de barro recocido	123	206	16.3	151.6
Tiempo espesor	Material compuesto	45	185	33.1	114.1
	Tabique de barro recocido	35	66	6.5	42.6

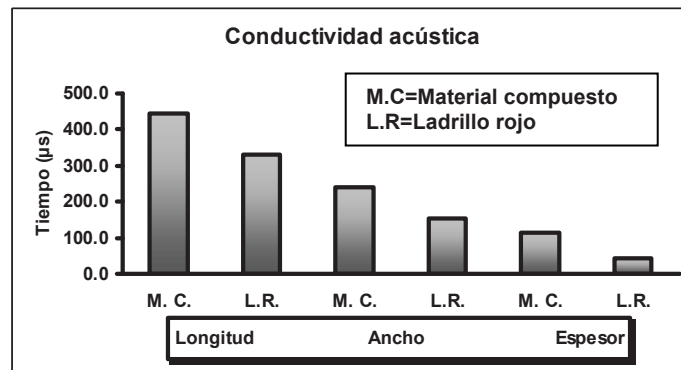


Figura 7.7 Representación de los promedios del tiempo de la prueba de conductividad acústica.

En la segunda parte de esta prueba se midió la velocidad con que la onda ultrasónica transcurrió de un extremo al otro de cada probeta. Al igual que con el tiempo, se realizó la medición en los tres sentidos de cada una de las 60 piezas utilizadas para el ensayo, tanto de material compuesto como de barro recocido.

La hipótesis nula que se estableció fue la siguiente:

$$H_0: V_1 = V_2$$

Esto contra la hipótesis alternativa:

$$H_1: V_1 \neq V_2$$

Donde:

V_1 Velocidad, material compuesto

V_2 Velocidad, tabique de barro recocido

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza, referentes a la medición de la velocidad (cuadro 7.16).

Cuadro 7.16 Análisis de varianza para la prueba de conductividad acústica, velocidad.

Análisis de varianza						
	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	P
Velocidad longitud	Modelo	3572.81667	1	3572.81667	0.095	0.75912
	Error	2183267.37	58	37642.5408		
	Total	2186840.18	59			
Velocidad ancho	Modelo	234125.067	1	234125.067	6.61	0.01276
	Error	2055661.67	58	35442.4425		
	Total	2289786.73	59			
Velocidad espesor	Modelo	3355935	1	3355935	66.45	3.41E-11
	Error	2929146.73	58	50502.5299		
	Total	6285081.73	59			

El análisis de varianza indica que es probable que las medias de tratamiento sean iguales en el plano longitud, debido a que la razón F obtuvo un valor de 0.095 para un valor de $F_{\alpha, 1, 58} = 4.00$. Lo que no se repite en el ancho ya que la razón F obtuvo un valor de 6.61 mientras que para el espesor fue de 66.45, comparando los

valores de F calculada con $F_{\alpha_{1.58}} = 4.00$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las medias de tratamientos difieren.

Si se ha rechazado la hipótesis nula de igualdad de medias esto supone que existe una diferencia. Por consecuencia, al rechazar la hipótesis nula $H_0:V_1=V_2$, la hipótesis alternativa se acepta $H_1:V_1 \neq V_2$.

Con la prueba Tukey se determina que ambos materiales no son significativamente diferentes debido a que el valor crítico que se obtuvo fue de 100.25 en el sentido longitudinal, siendo el valor absoluto de sus diferencias muestrales de 15.4. En el ancho fue de 97.27 y el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 124.93, mientras que para el espesor fue de 116.11, mientras que el valor absoluto de sus diferencias muestrales es de 473. Es decir, es mayor el valor absoluto de la diferencia de promedios que el valor crítico (cuadro 7.17).

Cuadro 7.17 Prueba Tukey para la prueba de conductividad acústica: velocidad.

Prueba Tukey				
		Promedios	Diferencia de los promedios $ \bar{y}_i - \bar{y}_j $	Valor crítico
Velocidad longitudinal	Material compuesto	698	15.4	100.25
	Tabique de barro recocido	713.4		
Velocidad ancho	Material compuesto	665.97	124.93	97.27
	Tabique de barro recocido	790.90		
Velocidad espesor	Material compuesto	618.57	473	116.11
	Tabique de barro recocido	1091.57		

De la misma manera se observa que entre los tres sentidos de ambos tabiques es mayor la velocidad en el sentido longitudinal, que en los dos sentidos restantes, debido posiblemente a la distancia recorrida de la onda ultrasónica. El tabique de barro recocido fue el que tuvo una menor velocidad en el espesor teniendo un promedio de 618.57 m/s debido también a la distancia recorrida. El promedio del material compuesto en el mismo sentido fue de 1,091.57 m/s (cuadro 7.18 y figura 7.8).

Cuadro 7.18 Datos mínimos, máximos, desviación estándar y media de los materiales estudiados.

		Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Media
Velocidad longitudinal	Material compuesto	440	1394	269.2	698
	Tabique de barro recocido	625	830	53.3	713.4
Velocidad ancho	Material compuesto	378	1222	253.40	665.97
	Tabique de barro recocido	561	960	81.69	790.90
Velocidad espesor	Material compuesto	324	1441	294.20	618.57
	Tabique de barro recocido	672	1263	120.22	1091.57

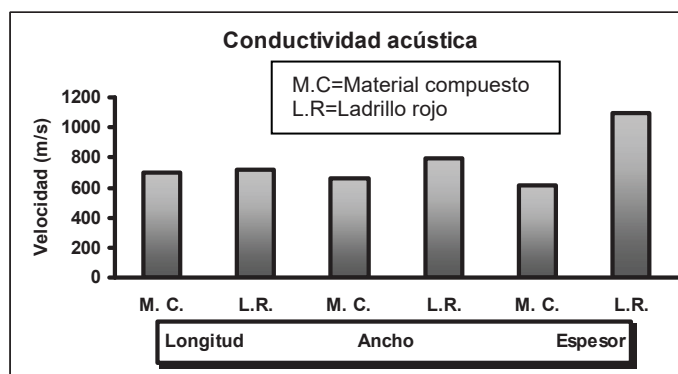


Figura 7.8 Representación de los promedios del tiempo de la prueba de conductividad acústica.

Los resultados de las pruebas realizadas para la caracterización de los tabiques tanto de material compuesto como de barro recocido se muestran a continuación (cuadro 7.19).

Cuadro 7.19 Promedios de las pruebas realizadas.

	Promedios de las pruebas realizadas									
	Absorción inicial de agua (gr/min)	Absorción total en 24 horas (%)	Resistencia al fuego (°C)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	Conductividad acústica					
					Tiempo (µs)			Velocidad (m/s)		
					Longitud	Ancho	Espesor	Longitud	Ancho	Espesor
Material compuesto	10.4	68.56	100.20	9.2	443.8	238.7	114.1	698	665.97	618.57
Tabique de barro recocido	20.4	31.92	191.72	38.3	331.3	151.6	42.6	713.4	790.90	1091.57

8 DISCUSIÓN

Los tabiques de barro recocido presentan una mayor absorción máxima inicial que los tabiques de material compuesto, esto debido probablemente al fenómeno de capilaridad y a que es un material poroso. Sin embargo, en la absorción total en 24 horas fue mayor el porcentaje en el material compuesto; esto debido posiblemente a que el aserrín posee las mismas propiedades de absorción de la madera. No obstante, ambos tipos de tabiques no cumplen con la normatividad de calidad vigente en el país para este tipo de piezas.

En la prueba de resistencia al fuego se aprecia que el tabique de barro recocido presenta mayor temperatura alcanzada en un intervalo de tiempo de una hora y que en ese lapso las condiciones que se tienen para este material fue de deflexión, sin apreciarse visualmente la presencia de gases de combustión ni la inflamación de la estopa de algodón. Quizás con disminución de la resistencia mecánica pero sin llegar a colapsarse debido al fuego. Lo anterior se debe posiblemente a que se trata de un material cerámico y, por lo tanto no hay presencia de combustión con flama y de acuerdo a la normatividad se considera dentro de los parámetros aceptables para dicho material.

En la prueba anterior con el material compuesto, se estima que, para el mismo tiempo de prueba el tabique llegó a la calcinación de sus componentes, pero sin presencia de flama, por lo tanto, se desarrolló una combustión sin flama. El tabique de material compuesto en el momento en el que se le coloca el fuego, empieza a desprender gases de combustión y aproximadamente a los 5 minutos de estar en la llama empieza a calcinarse. Por lo tanto, y de acuerdo a la norma se considera no aceptable.

En la prueba de resistencia a la compresión, se observa que el tabique de barro recocido tiene una mayor resistencia por área (38.3 kgf/cm^2) que el tabique de aserrín-cemento (9.2 kgf/cm^2) esto es debido al tipo de materiales probados. Sin embargo, ambos ejemplares de tabiques no cumplen con la normatividad vigente en el país. Debido a que la norma determina que para el tabique de barro recocido se considera una resistencia a la compresión de 60 kgf/cm^2 . También se debe a que el tabique de barro recocido presenta una densidad de $1,352.2 \text{ kg/cm}^3$, y el tabique de aserrín-cemento presenta una densidad de 715.5 kg/cm^3 .

En cuanto a la prueba de conductividad acústica, no se hace referencia con alguna norma pues para el tabique de barro recocido no se aplica. De tal modo, que se observa que de los dos tipos de tabiques ensayados, el tabique de barro recocido presenta una mayor velocidad en los tres sentidos estudiados y un menor tiempo de traslado de la onda ultrasónica que el tabique de aserrín-cemento.

Probablemente el tiempo es mayor en el tabique de material compuesto que en el tabique de barro recocido debido a que las partículas de madera son más gruesas existiendo mayores espacios entre las mismas y eso retarda la velocidad.

Por lo anterior, se infiere que el tabique de aserrín-cemento probablemente posea mejores características de absorción de sonido.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los tabiques de barro recocido presentan una mayor absorción máxima inicial que los tabiques de material compuesto.
2. En la prueba de resistencia al fuego el tabique de barro recocido presenta deflexión mientras que el material compuesto llegó a la calcinación de sus componentes pero sin llegar a inflamar la estopa de algodón.
3. En la prueba de resistencia a la compresión, el tabique de barro recocido tiene una mayor resistencia por área que el tabique de aserrín-cemento.
4. Referente a la prueba de conductividad acústica, de los dos tipos de tabiques ensayados, el tabique de barro recocido presenta una mayor velocidad en los tres sentidos estudiados y un menor tiempo de traslado de la onda ultrasónica que el tabique de aserrín-cemento.
5. Al ser un producto que en su elaboración utiliza residuo de aserradero principalmente, se contribuye a la disminución de la contaminación ambiental.
6. En este caso al utilizar aserrín de oyamel, que es una madera impermeable se considera que se favoreció el decremento de la absorción de agua.
7. El tamaño propuesto del tabique lo hacen manejable así como su ligereza.

8. Se mezclaron bien el cemento y el aserrín por lo que se supone que tiene buena integración con otros materiales al momento del revestimiento. Así como también al revestirlo se incrementa su resistencia al fuego.
9. Se presupone una buena adherencia con el mortero.
10. Se puede utilizar en construcciones simples, para paredes divisorias.
11. Por los resultados obtenidos en la conductividad acústica se considera que es buen aislante acústico.
12. Se recomienda realizar investigación referente a este tipo de trabajos, cuya finalidad principal es la del aprovechamiento integral de la materia prima.
13. Se recomienda investigar algún tipo de aditivo a base de resinas acrílicas para el material compuesto, para aumentar o mejorar las propiedades físico-mecánicas del tabique de aserrín-cemento.
14. Debido a que el aserrín contiene celulosa, azúcares solubles, ácidos, resinas, aceites, entre otros extractivos dependiendo de la especie de la que se obtuvo, se recomienda realizar investigación la relación existente entre el aserrín y el cemento.
15. Se recomienda investigar si existe un efecto determinado entre el aserrín (especie de la madera) y el fraguado y endurecimiento del cemento que pudieran afectar las propiedades del tabique.
16. Es recomendable investigar sobre la conveniencia de realizar un pretratamiento al aserrín para mejorar las propiedades del tabique.
17. Este tipo de tabique sería una alternativa para utilizar aserrín de maderas tratadas con sales CCA.

10 REFERENCIAS

Ajayi, B. 2006. Properties of maize-stalk-based cement-bonded composites. *Forest Products Journal*. 56 (6): 51-55.

Bárbara, Z. F. 1965. Materiales y procedimientos de construcción. México. Editorial Herrero. Tomo II. 4a. ed. 596 p.

Baud, G. 1970. Tecnología de la construcción. España. Editorial Blume. 3a. ed. 447 p.

Cabangon, R. J., D. A. Eusebio, F. P. Soriano. 2000. Effect of post-harvest storage on the suitability of *Acacia mangium* for the manufacture of wood-wool cement boards. *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held*. ACIAR proceedings. Canberra, Australia. (107): 97-104.

De Souza, M. R., R. L. Geimer, A. A. Moslemi. 1997. Degradation of conventional and CO₂ injected cement-bonded particleboard by exposure to fungi and termites. *Journal of Tropical Products* 3(1): 63-69.

Espinoza, H. R. 2002. Elaboración y evaluación de un tablero a base de yeso y partículas de madera y su confrontación con otros tableros. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 113 p.

Falk, R. H. 1994. Housing products from recycled wood. Conference CIB TG 16. Sustainable Construction. Tampa, Florida. USA. November 6-9.

Fei, M. L., H. Yamauchi, O. R. Pulido. 2000. Manufacture of cement-bonded boards from wood and other lignocellulosic materials: relationships between cement hydration and mechanical properties of cement-bonded boards. *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held. ACIAR proceedings. Canberra, Australia. (107): 13-23.*

Haygreen, J. G., and J. L. Bowyer. 1989. Forest products and wood science, on introduction. IOWA State University Press. USA. 2° edición. 500 p.

Huang, C., P. A. Cooper. 2000. Cement-bonded particleboards using CCA-treated wood removed from service. *Forest Products Journal. 50(6): 49-56.*

<<http://www.construye.com/macmillanguadiana/fibro cemento.htm>> (consulta: 28- abril-2008).

Keyser. 1993. Ciencia de materiales para ingeniería. México. Limusa-Noriega Editores. 460 p.

Kinsler, L. E., y col. 1990. Fundamentos de acústica. México. Limusa Noriega editores. 592 p.

Klatt, P. S. B. Spiers. 2000. Rice hulls, a unique material for the manufacture of extruded biocomposites. *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held. ACIAR proceedings. Canberra, Australia. (107): 87-94.*

Laufenberg, T. L., M. Aro. 2004. Phosphate-Bonded Ceramic–Wood Composites. Proceedings of Ninth International Conference on Inorganic-Bonded Composite Materials. British Columbia, Canada. October 10-13.

Love, T. W. 1996. El concreto en la construcción. México. Trillas. 173 p.

Miguel, S. A. 1960. Tratado de construcción, propiedades de los materiales aglomerantes: fabricación, aplicaciones y usos. Tomo I. México. Compañía editorial continental. 596 p.

Montgomery, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. México. Grupo Editorial Iberoamérica. 589 p.

Neville, A. M., J. J. Brooks. 1998. Tecnología del concreto. México. Trillas. 329 p.

NMX-C-036- ONNCCE-2004. Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – resistencia a la compresión – método de prueba. Disponible en: <<http://www.onncce.org.mx>>. (consulta: 12-julio-2007).

NMX-C-037- ONNCCE-2005. Industria de la construcción – bloques, ladrillos o tabiques y tabicones – determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua. Disponible en: <<http://www.onncce.org.mx>>. (consulta: 12-julio-2007).

NMX-C-307-1982. Industria de la construcción – edificaciones-componentes-resistencia al fuego-determinación. Disponible en: <<http://www.onncce.org.mx>>. (consulta: 12-julio-2007).

NMX-C-404- ONNCCE-2005. Industria de la construcción – bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – especificaciones y métodos de prueba. Disponible en: <<http://www.onncce.org.mx>>. (consulta: 12-julio-2007).

Ramírez-Coretti, A., C. A. Eckelman, R. W. Wolfe. 1998. Inorganic-bonded composite wood panel systems for low-cost housing a Central American perspective. *Forest Products Journal*. 48(4): 62-68.

Rowell, R. M., R. A. Young, J. K. Rowell. 1997. Paper and composites from agro-based resources. CRC Press, Lewis publishers. USA. 446 p.

Rowell, R. M., J. A. Youngquist, D. McNatt. 1991. Composites from recycled materials. 25th Symposium international of particleboards-composite materials. Washington State University. pp. 301-314.

Semple, K. E., R. B. Cunningham, P. D. Evans. 2000. Compatibility of eight temperata australian eucalyptus species with portland cement. *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held*. ACIAR proceedings. Canberra, Australia. (107): 40-46.

Semple, K. E., P. D. Evans. Screening inorganic additives for ameliorating the inhibition of hydration of portland cement by the heartwood of *Acacia mangium*. *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held*. ACIAR proceedings. Canberra, Australia. (107): 29-39.

Springer, C. H. 1972. Inferencia estadística. México. Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana. 414 p.

Sutigno, P. 2000. Effect of aqueous extraction of wood-wool on the properties of wood-wool cement board manufactured from teak (*Tectona grandis*). *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region: proceedings of a workshop held*. ACIAR proceedings. Canberra, Australia. (107): 24-28.

Weatherwax, R., H. Tarkow. 1964. Effect of wood on the setting of Portland cement. *Forest Products Journal*. 14(12):567-570.

Weatherwax, R., H. Tarkow. 1967. Effect of wood on the setting of Portland cement: decayed wood as an inhibitor. *Forest Products Journal*. 17(7):30-32.

Wolfe, R. W., A. Gjinolli. 1999. Durability and strength of cement bonded wood particle composites made from construction waste. *Forest Products Journal*. 49 (2): 24-31.