

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela Académico Profesional De Física Aplicada**

**Caracterización de materiales compuestos utilizados en  
la fabricación de paneles para la construcción de  
viviendas en zonas rurales**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Denisse Lourdes Chana Chana**

**Para optar el título profesional de:**

**LICENCIADA EN FÍSICA APLICADA**

**TACNA – PERÚ**

**2013**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

FACULTAD DE CIENCIAS

TESIS N° 200

TITULO PROFESIONAL DE  
LICENCIADA EN FISICA APLICADA

El Secretario Académico de la Facultad de Ciencias, certifica que mediante la resolución de la facultad N° 7582-2013-FACI/UNJBG se ha designado como Jurado Calificador para la sustentación de la tesis: "CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PANELES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN ZONAS RURALES", conformado por:

**PRESIDENTE:** MSc. César E. Rivasplata Cabanillas

**SECRETARIO:** MSc. Carlos Polo Bravo

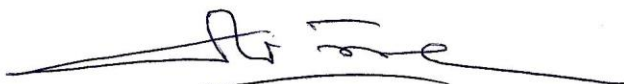
**VOCAL:** MSc. José A. Tiburcio Moreno

Quienes calificaron el trabajo de la tesis sustentado en acto público el día 22 de Noviembre del 2013 a las 11:00 horas, por la Bachiller Denisse Lourdes Chana Chana, de la Escuela Académico Profesional de Física Aplicada, para optar el título profesional de Licenciada en Física Aplicada.

El jurado calificador en forma secreta e individual, se pronunció sobre el calificativo del trabajo expuesto, procediendo a emitir el siguiente resultado:

Aprobado por unanimidad con la nota de 16 (DIECISEIS) con el calificativo de bueno.

Para ratificar firma:



MSc. César E. Rivasplata Cabanillas  
PRESIDENTE



MSc. Carlos Polo Bravo  
SECRETARIO



MSc. José A. Tiburcio Moreno  
VOCAL

*Dedicatoria:*

*A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy.*

*A mi familia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en especial a mis padres Lourdes y Lucio por su incondicional apoyo en todo este tiempo.*

*A la persona que cambio mi vida, durante estos años ha sabido apoyarme para continuar y nunca renunciar, gracias por su amor y ayuda.*

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, le doy las gracias al MSc. Hugo Torres Muro, asesor de la presente tesis. Docente de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por el interés en el desarrollo de este proyecto. Gracias también al Dr. Ing. Julio Acosta Sullcahuaman, extraordinario co-asesor, catedrático de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por entender y creer en mi persona.

Así mismo, agradecerle a la Dra. María Elena López por su colaboración en el desarrollo de los Análisis Físicos de este proyecto, también catedrática de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Finalmente mi gratitud a los muy buenos profesionales que estuvieron dando su apoyo incondicional para la elaboración de este proyecto en sus distintas fases, en especial un reconocimiento al Ing. Joel Apolinario por sus aportes prácticos y el tiempo brindado.

A todos los maestros que en su oportunidad nos dieron con sabiduría y enseñanzas teórico – prácticas en el transcurso de nuestra formación académico.

## INDICE

NOMENCLATURA .....	8
RESUMEN .....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
Capítulo I.....	13
1.1 Antecedentes del Problema.....	14
1.2 Formulación del Problema .....	15
1.3 Justificación de la Investigación.....	15
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 Hipótesis .....	18
1.6 Variables de Estudio .....	19
Capítulo II.....	20
2.1 Materiales compuestos .....	21
2.2 Clasificación de los Materiales Compuestos.....	23
2.3 Fibras.....	28
2.4 Matrices .....	31
2.5 Unión Matriz - Fibra .....	32
2.6 Panel de fibrocemento .....	34
2.7 Materiales .....	35
2.7.1 Cascarilla de arroz.....	35
2.7.2 Cemento Pórtland tipo I .....	39
2.8 Propiedades Físicas y Mecánicas.....	46
2.8.1 Resistencia a la Flexión.....	46
2.8.2 Conductividad Térmica .....	47
2.8.3 Resistencia al fuego .....	51

2.8.4	Absorción de Agua .....	52
Capítulo III	.....	54
3.1	Diseño experimental .....	55
3.2	Materiales .....	55
3.3	Descripción del trabajo.....	58
3.4	Fabricación de probetas.....	59
3.5	Métodos de Ensayo .....	62
3.5.1	Ensayo de Flexión .....	62
3.5.2	Ensayo de Conductividad Térmica .....	64
3.5.3	Ensayo de Resistencia al fuego.....	66
3.5.4	Ensayo de Absorción de Agua.....	67
Capítulo IV	.....	69
4.1	Ensayo de Resistencia a Flexión .....	70
4.2	Ensayo de Conductividad Térmica .....	73
4.3	Ensayo de Resistencia al fuego.....	77
4.4	Ensayo de Absorción de agua .....	81
Capítulo V	.....	85
5.1	Conclusiones .....	86
5.2	Recomendaciones .....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	89
ANEXOS	.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los Materiales Compuestos. ....	25
Figura 2: a) Ensayo de flexión utilizado para medir la resistencia de materiales frágiles y b) deflexión $\delta$ obtenida durante la flexión de la probeta.....	47
Figura 3: Esquema del flujo de calor a través de una superficie .....	50
Figura 4: Vista fotográfica de la cascarilla de arroz.....	60
Figura 5: Vista fotográfica de la mezcla del cemento –papel reciclado. ....	60
Figura 6: Vista fotográfica de la mezcla en el molde. ....	61
Figura 7: Vista fotográfica del prensado. ....	61
Figura 8: Vista fotográfica como la probeta es fraguada. ....	61
Figura 9: Vista fotográfica del ensayo de Flexión.....	63
Figura 10: Vista fotográfica del ensayo de Conductividad Térmica.....	65
Figura 11: Vista fotográfica del ensayo de Resistencia al Fuego. ....	66
Figura 12: Vista fotográfica del ensayo de Absorción de Agua. ....	68
Figura 13: Relación de Resistencia a Flexión y el Porcentaje de Cascarilla Arroz.....	72
Figura 14: Relación de conductividad Térmica y el porcentaje de arroz. ....	76
Figura 15: Relación de Resistencia al Fuego y el Porcentaje de Cascarilla de Arroz.....	80
Figura 16: Relación de Absorción de Agua y el Porcentaje de Cascarilla de Arroz.....	83

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Conductividad Térmica.....	37
Tabla 2: Componentes del Cemento Portland.....	40
Tabla 3: Óxidos Componentes del Cemento.....	40
Tabla 4: Principales tipos de Cemento Portland.....	44
Tabla 5: Resultados de la Resistencia a Flexión.....	71
Tabla 6: Datos y medidas de cada probeta.....	74
Tabla 7: Resultados de la Conductividad Térmica.....	75
Tabla 8: Resultados del Ensayo a Resistencia al Fuego.....	79
Tabla 9: Resultados de Absorción del Agua.....	82

## NOMENCLATURA

%	Porcentaje de cascarilla de arroz
F	Carga de fractura
L	Distancia entre punto de apoyo
w	Ancho de probetas
h	Altura
$\delta$	Deflexión
t	Tiempo
Tc	Temperatura Caliente
Tf	Temperatura Frio
$\Delta Q$	Calor intercambiado en el tiempo $\Delta t$ , entre la zona fría y la caliente [J].
$\Delta T$	Diferencia de temperaturas entre la zona fría y caliente [°C].
K	Conductividad térmica [W/m°K].
A	Área de la sección transversal de la muestra [m <sup>2</sup> ]
e	Espesor de la muestra [m].
Ws	Masa saturada (g) de la muestra.
Wd	Masa húmeda (g) de la muestra.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de tesis expone el proceso y resultados de una investigación sobre residuos orgánicos para ser reutilizados en la fabricación de paneles para viviendas, tiene la finalidad de reducir el problema de la disposición de residuos agroindustriales, particularmente la cascarilla de arroz.

El proceso escogido fue la elaboración de probetas con partículas de cascarilla de arroz, actuando como refuerzo en una matriz cerámica constituida de cemento. Se escogió esta fibra natural debido a la gran producción en la industria arrocera, siendo la cascarilla de arroz un residuo agrícola abundante y de propiedades físicas aprovechables.

Las pruebas realizadas están basadas en las normas ASTM para ensayos que evalúan las propiedades mecánicas de compuestos desarrollados en base a fibras naturales como refuerzo en la matriz constituida de cemento. De esta investigación se concluye que es posible desarrollar probetas con propiedades físico-mecánicas óptimas y evidenciar que los residuos agrícolas pueden ser reutilizados.

Cabe aclarar que este trabajo es parte de un proyecto de investigación que se viene desarrollando en la sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación sostiene como propuesta el uso de nuevos materiales en la fabricación de paneles para la construcción de viviendas en zonas rurales. Estos materiales resultan de mezclar residuos orgánicos, actuando como refuerzo en una matriz cerámica que está acompañado de otros materiales secundarios como papel reciclado.

La propuesta del reciclaje de residuos orgánicos, busca colaborar en la gestión ambientalmente adecuada de residuos sólidos. Así mismo, la generación de cascarilla de arroz en nuestro país es considerable, por la alta producción arrocería, sobre todo en el norte y sur de nuestro país, en departamentos como Lambayeque, La Libertad y Arequipa que son grandes productores de este grano, sin embargo, su uso como residuo para la utilización en forma adecuada podría facilitar la elaboración de paneles con cemento y cascarilla de arroz para la construcción de viviendas en zonas rurales, por lo que dicha propuesta se puede constituir en una adecuada solución ambiental, social y económica.

Este esfuerzo busca presentar una alternativa para aprovechar la utilidad y alargar el ciclo de vida de estos residuos, lo que logramos disminuyendo grandes cantidades de cascarilla de arroz al ser usadas como parte de

materiales en la fabricación de paneles, revalorando su importancia en elaboración y aprovechamiento de nuevos materiales.

Desde nuestras posibilidades buscamos aportar en el cuidado del medioambiente a través del reciclaje de cascarilla de arroz. Con esto, pretendemos disminuir la demanda de materiales vírgenes y también disminuir la presión al medio que significa la presencia de residuos de difícil tratamiento.

La obtención de nuevos materiales es un reto que está asumiendo la comunidad científica frente a la necesidad de preservar la naturaleza; sin embargo para conocer más a fondo el estudio realizado vamos a desarrollar el presente informe, que tiene la siguiente estructura:

En el capítulo I, se hace referencia al planteamiento del estudio, haciendo una descripción de los antecedentes del problema y formulación del problema; asimismo desarrollaremos la justificación de la Investigación y estableceremos los objetivos generales y específicos de nuestro estudio, pro seguiremos con el desarrollo de la hipótesis, identificando nuestras variables de estudio y exponiendo nuestros aspectos metodológicos.

En el capítulo II, desarrollamos el marco teórico conceptual y analizaremos los materiales compuestos, asimismo veremos la clasificación de

estos materiales y detallamos todos los aspectos teóricos que fundamentan la investigación.

En el capítulo III veremos los materiales utilizados para la elaboración de las probetas, la metodología experimental y el proceso de fabricación. Una explicación y descripción breve de los ensayos realizados para determinar las características físicas de los paneles se incluye en esta sección.

Seguidamente desarrollaremos en el capítulo IV que expone los resultados y su discusión de las mediciones realizadas en cada ensayo, y como parte final del estudio veremos las conclusiones y recomendaciones.

Es necesario mencionar que el trabajo es parte de un proyecto de investigación que se viene desarrollando en la sección de Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, los laboratorios que prestaron sus servicios son Laboratorio de Materiales y Laboratorio de Análisis Físicos.

Asimismo, se debe considerar que la Pontificia Universidad Católica del Perú tiene la patente del material compuesto que ha servido como matriz de los materiales que se evalúa en este trabajo.

## **Capítulo I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Antecedentes del Problema**

El crecimiento de la producción agrícola e industrial, trae como contrapartida el incremento de residuos de todo tipo, haciendo cada vez más difícil, costoso y ambientalmente insustentable su tratamiento y disposición final. Por ello es creciente -en todo el mundo- el interés en la reutilización de los diversos residuos en distintas áreas, consiguiendo no sólo beneficios ambientales, sino económicos y sociales.

La cáscara de arroz es el mayor residuo resultante de la producción agrícola de granos y su disposición final es uno de los mayores problemas existentes en países productores de arroz. Cada 4 toneladas de arroz producidas, 1 tonelada es cáscara de arroz [Behak, 2008]. La disposición final de tales cantidades de cáscara es un auténtico problema. Para reducir el volumen de residuo a depositar, la cáscara de arroz es quemada, intentando darle una utilidad económica, como energético en calderas de secado del propio arroz (proceso de parboilización), combustible para la producción de cemento Portland, para la generación de energía eléctrica, etc. [Behak, 2008]

La disposición de residuos generados durante su proceso productivo representa un gran desafío; ya que estos deben de tener algún tratamiento o ser reaprovechados. Precisamente el reaprovechamiento de estos residuos y la elaboración de un producto al alcance de los que más lo necesitan, viene a ser un gran desafío en esta investigación.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Será posible la fabricación de paneles con matriz cerámica (cemento-papel reciclado) y cascarilla de arroz para la construcción de viviendas en zonas rurales?

## **1.3 Justificación de la Investigación**

Uno de los efectos más importantes del impacto ambiental a causa de las actividades agroindustriales es la generación de subproductos y residuos. El presente trabajo busca aplicaciones para reducir los residuos lignocelulósicos como la cascarilla de arroz y aplicarlos en diversos materiales mediante el estudio de sus propiedades y de la sinergia producida al mezclarlos con matriz cerámica como el cemento. Obteniendo con esto productos un valor agregado que promuevan el reciclaje de dichos recursos que en este momento están

siendo desperdiciados en nuestro país. [Novoa, 2005]. Teniendo en cuenta todo lo expuesto, podemos decir que este trabajo de investigación tiene la suficiente justificación basada en los siguientes aspectos:

- **Justificación académica**

La principal aportación de este trabajo es el obtener una mezcla con propiedades que no pueden ser alcanzadas por ninguno de los constituyentes (refuerzo – cascarilla de arroz y matriz – cemento y papel reciclado) de manera independiente, sino a través de integración de las propiedades individuales de dichos constituyentes en un solo material, constituyéndose así en un aporte en el estudio de las propiedades y aplicaciones de nuevos materiales en la ciencia de materiales.

- **Justificación ambiental y económica**

El desarrollo de estos materiales con fibra natural se basa principalmente en el aprovechamiento de diversos residuos agrícolas que de otra manera se constituirían en desperdicio sin ningún valor. Esta investigación se basa en el reciclaje integral para que así, desechos que son parte importante en nuestro estudio tengan un procesamiento y reutilización para formar productos útiles para la

sociedad que lleven de la mano un costo de producción realmente bajo y competitivo.

Se espera que el factor ambiental sea positivo, pues se conoce que la fabricación de materiales para la construcción se desarrolla con procesos altamente contaminantes y con un inadecuado consumo energético.

- **Justificación Social**

El uso de materiales alternativos para la construcción de vivienda representa un status socioeconómico y ambientalista, pues en algunas ocasiones el material llega a ser más caro que los materiales convencionales para la construcción, debido a que son productos elaborados mediante procesos no agresivos al ambiente.

Los residuos agrícolas son poco aprovechados en la industria, pero pueden ser una alternativa que podría ofrecer salidas a la pequeña y mediana empresa, involucrando elementos claves para los sistemas de producción, la integración, la optimización de los ciclos de producción con mínimas pérdidas y buen aprovechamiento de las fibras, ya que actualmente son escasos sus usos y sabemos que se puede lograr una alta productividad.

El saber que se busca una solución para estos residuos se tiene como satisfacción el obtener viviendas dignas, ambientalmente integrales, socialmente aceptables y económicamente rentables.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Obtener probetas con agregados de cascarilla de arroz y matriz cerámica para la fabricación de paneles para la construcción de viviendas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Encontrar los puntos óptimos de mezcla entre la cascarilla de arroz y la matriz del material compuesto para la fabricación de paneles.

Evaluar propiedades físicas y mecánicas, conductividad térmica, resistencia al fuego, resistencia a la flexión y absorción de humedad de los paneles desarrollados.

## **1.5 Hipótesis**

Es posible fabricar paneles con materiales compuestos para la construcción de viviendas usando como agregados la cascarilla de arroz en una matriz cerámica.

## 1.6 Variables de Estudio

**Variable independiente:** porcentaje en peso de la cascarilla de arroz

**Definición conceptual:** Es la cantidad de cascarilla de arroz que se debe agregar a la matriz de cemento y papel reciclado para obtener el nuevo material compuesto. El porcentaje de cascarilla de arroz es una variable muy importante en este estudio, porque es el refuerzo de la matriz.

**Variable dependiente:** propiedades físicas y mecánicas, conductividad térmica, resistencia al fuego, resistencia a la flexión y absorción de agua.

**Definición conceptual:** Estas propiedades están en función de la cantidad de cascarilla que se agregue al material compuesto.

## **Capítulo II: MARCO TEORICO**

## 2.1 Materiales compuestos

Un material compuesto presenta dos elementos principales: fibra y matriz. La combinación adecuada de estos componentes origina un material con mejores propiedades que las partes que los componen por separado.

Los compuestos son materiales que aprovechan las propiedades de dos o más materiales (metales, cerámicos y plásticos) al ser combinados (insolublemente) y unidos de cierta manera en proporciones adecuadas, forman un nuevo material con propiedades diferentes a las de los constituyentes. Así, pueden lograrse combinaciones de propiedades que son difíciles de obtener en materiales convencionales, tal como gran tenacidad y alta resistencia a la tracción. Generalmente, los constituyentes se combinan en dos fases tal que las debilidades de uno de ellos se compensan con las fortalezas del otro, mejorando el desempeño global. Por ejemplo, un polímero puede reforzarse con fibras de vidrio para obtener resistencia y rigidez adecuadas, manteniéndose un bajo peso. [Vanegas, 2004]

Se suele definir el material compuesto como la combinación a escala macroscópica de dos o más materiales con interfases de separación entre ellos para formar un nuevo material. [Paris, 2006]

Las propiedades que suelen ser de interés en estos materiales son:

- ✓ Resistencia Mecánica.
- ✓ Rigidez.
- ✓ Resistencia a corrosión.
- ✓ Resistencia a la abrasión.
- ✓ Peso.
- ✓ Vida a fatiga.
- ✓ Aislamiento térmico.
- ✓ Aislamiento acústico.

En general, podemos decir que los materiales se pueden reforzar con fibras o partículas. Los materiales reforzados con partículas presentan propiedades más isótropas que los materiales reforzados con fibras, que tienden a ser muy anisótropos, es decir, su resistencia, rigidez y otras propiedades físicas son diferentes de acuerdo a la orientación del material, por ejemplo, si se fabrica un material compuesto de matriz polimérica de manera que queden paralelas todas las fibras, el material será muy rígido en paralelo a las fibras, pero muy poco en perpendicular a ellas.

Estas propiedades anisótropas constituyen un reto importante para el diseñador que utilice estos materiales en estructuras que apliquen fuerzas multidireccionales a sus componentes. Sin embargo, la combinación de diferentes matrices (normalmente se usan polímeros o

metales ligeros) con distintos materiales o disposiciones de fibra (fibra de vidrio, de carbono, orgánicas o de polímeros, entre otras) permite conseguir materiales con propiedades mecánicas muy especiales que se adaptan a los distintos aspectos que requiere un determinado diseño.

A pesar de presentar ventajas considerables sobre los materiales convencionales, estos materiales tienen algunos inconvenientes. Es necesario comentar, que también es complicada la elaboración de uniones resistentes entre los componentes de un material compuesto.

En este capítulo se van a tratar los principales componentes que combinan los materiales compuestos. Se presentarán las principales propiedades de estos componentes y se profundizará en los sistemas de material compuesto más usuales. La fibra es el componente de refuerzo del material compuesto. Aporta resistencia mecánica, rigidez y dureza y va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas.

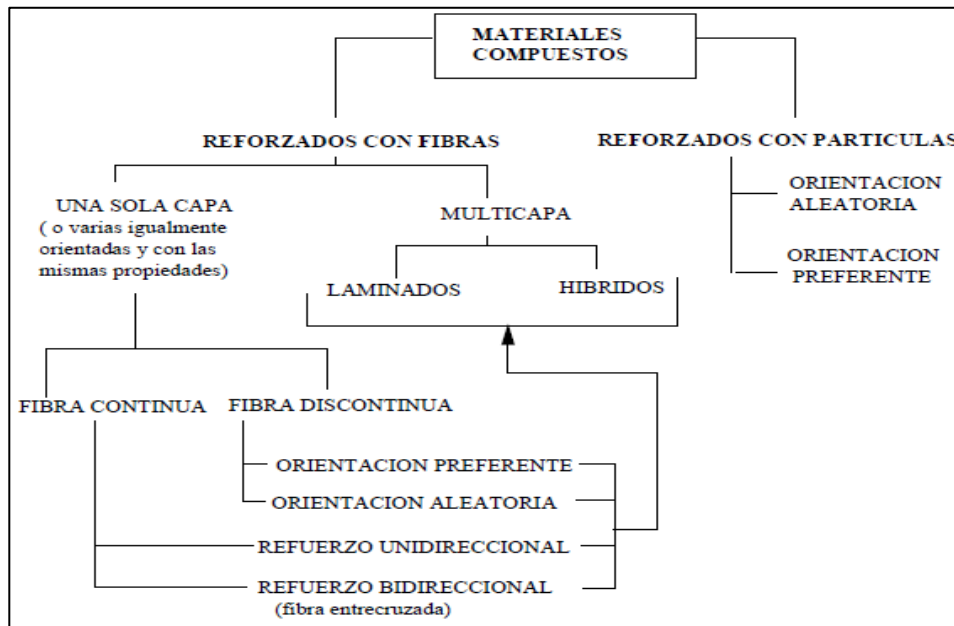
## **2.2 Clasificación de los Materiales Compuestos.**

Existe tal variedad de materiales compuestos que resulta difícil realizar una clasificación de aceptación general. La primera cuestión es acordar con respecto a qué factor se va a realizar la clasificación.

Dado que la mayoría de los materiales compuestos han sido fabricados para mejorar propiedades mecánicas tales como resistencia, rigidez, tenacidad o altas temperaturas, parece razonable realizar la clasificación sobre el mecanismo que produce ésta mejora, el cual depende en gran medida de la geometría del refuerzo que se introduce dentro de un material base que se denomina matriz. Con esta idea se obtiene la clasificación que aparece en la figura 1., siendo preciso realizar la distinción entre fibra y partícula.

Una fibra se distingue porque una dimensión, su longitud, es mucho mayor que las otras dos (las características de la sección transversal).

El resto de los refuerzos están agrupados como partículas pudiendo ser esféricos, cúbicos, laminares o irregulares. En general, y a diferencia de lo que sucede en los compuestos de fibras, las partículas no tienden a absorber una parte importante de la carga que soporta el material compuesto por lo que apenas si se mejora la resistencia del material base que forma la matriz.



**Figura 1:** Clasificación de los Materiales Compuestos.

**Fuente:** [Paris, 2006].

Incluso puede aparecer una disminución de resistencia introduciendo partículas duras en matrices frágiles, provocando concentradores de tensión que afectan a la resistencia de estos compuestos.

El refuerzo con partículas es, sin embargo, ampliamente usado para mejorar ciertas propiedades de los materiales bases que forman las matrices tales como conductividades térmicas y eléctricas, comportamiento a alta temperatura, reducir fricción, aumentar resistencia a la abrasión, maquinabilidad, dureza, etc., y en ciertos casos

simplemente para reducir el costo de fabricación. Partículas inorgánicas son muy usadas para mejorar ciertas propiedades de los plásticos como la dureza superficial.

Experimentalmente se comprueba que la resistencia real de la mayoría de los materiales es sensiblemente inferior a la que teóricamente debería poseer por el tipo de estructura que el material tiene. La razón de esta discrepancia está en la existencia de imperfecciones en el material, de manera que cualquier acción encaminada a la reducción de éstas tiene un efecto beneficioso sobre la carga son particularmente negativas para la resistencia, estando ésta controlada en tales situaciones por tenacidad a fractura. Esto explica que un filamento de un material no polimérico exhiba una resistencia a la tracción en el sentido del filamento muy superior al mismo material pero con dimensiones del mismo orden en las tres direcciones, dado que se reduce la aparición de defectos en el filamento debido a las pequeñas dimensiones de la sección transversal.

En el caso de los materiales poliméricos, es la orientación de la estructura molecular la responsable de la resistencia y rigidez. Sin embargo, las fibras, debido principalmente a las pequeñas dimensiones de la sección transversal, no son directamente usables en las

aplicaciones ingenieriles. Son por ello embebidas en matrices para formar los materiales compuestos reforzados con fibras. La matriz une las fibras transfiriendo la carga (sobre todo en el caso de fibras discontinuas o cortas) y las protege contra agentes exteriores así como frente al daño derivado de su uso y manipulación [Paris, 2006].

Un material compuesto se dice de fibra discontinua o corta, cuando la longitud de la fibra afecta a las propiedades del material. En el material de fibra continua la carga es soportada fundamentalmente por las fibras, siendo la principal función de la matriz el mantener unidas a las fibras y protegerlas. El modo de fallo en estos compuestos viene gobernado por las fibras, salvo para fracciones volumétricas de fibra muy bajas.

Los compuestos unidireccionales son muy rígidos y resistentes en la dirección de la fibra pero muy débiles en la dirección perpendicular, por lo que su uso se reduce a aplicaciones en que trabajan estructuralmente como un tirante. Generalmente las láminas reforzadas en una dirección se usan para unir las entre sí con orientaciones diferentes y obtener un laminado de propiedades deseadas. En cualquier caso también se puede proceder a reforzar con fibras en dos direcciones cuál es el caso de usar tejidos de fibra de vidrio entrelazados en

direcciones perpendiculares, lo que proporciona similares características a la lámina en las dos direcciones.

Cuando se usa fibra discontinua, resulta más difícil controlar la orientación de las fibras, por lo que en la mayoría de los casos se supone que la fibra está orientada de forma aleatoria, teniendo el material compuesto propiedades cuasi-isótropas. [Paris, 2006]

### **2.3 Fibras**

La mayoría de los compuestos reforzados con fibra consiguen una mejor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia-peso, al incorporar fibras resistentes y rígidas aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas.

Se emplean muchos tipos de materiales de refuerzo. Por siglos se ha utilizado la paja para reforzar los ladrillos de barro o adobes. En las estructuras de concreto se introducen las varillas de acero de refuerzo. Las fibras de vidrio en una matriz polimérica producen un material para aplicaciones en la transportación y la industria aeroespacial. Las fibras

de boro, carbono, polímeros y materiales cerámicos aportan un refuerzo excepcional en compuestos avanzados basados en matriz poliméricas, metálica, cerámica e incluso en compuestos intermetálicos.

Las fibras vegetales presentan ventajas productivas (disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento), físicas (baja densidad, características de aislamiento y resistencia estructural, entre otras), bioquímicas (inocuidad, biodegradabilidad), entre otras. Las ventajas productivas, fisicotérmicas, ambientales y bioquímicas de las fibras naturales propician su utilización como una alternativa para impulsar el uso racional de los recursos naturales y la preservación ambiental.

El uso de fibras naturales y materiales lignocelulósicos (celulosa, aserrín de madera, sisal, yute, cascarilla de trigo, cascarilla de arroz, etc.) como refuerzo en materiales compuestos ha obtenido considerable interés debido a sus excelentes propiedades relativamente bajo.

Además, el procesado de estos composites es flexible, económico y ecológico, y es posible utilizar la misma maquinaria que se emplea para otros refuerzos tradicionales. Sin embargo, la principal desventaja para la utilización de estos composites reforzados con materiales

lignocelulósicos parece ser la incompatibilidad entre el refuerzo y la matriz.

Los materiales lignocelulósicos están básicamente constituidos por una compleja red de tres polímeros naturales: celulosa, hemicelulosa y lignina. La cascarilla de arroz, refuerzo empleado para la elaboración de estos paneles, es un material lignocelulósico especial. Aunque contiene los componentes típicos de cualquier material lignocelulósico, su contenido en lignina y hemicelulosa es menor que en la madera, mientras que el contenido en celulosa es similar. Por ello, la cascarilla de arroz puede procesarse a temperaturas superiores que la madera, la cual presenta problemas de estabilidad térmica a temperaturas superiores por encima de 200°C, mientras que la cascarilla de arroz es estable hasta los 250°C. Además, comparado con la madera, la cascarilla de arroz posee un 15% en peso de sílice, lo cual posibilita la obtención de materiales compuestos con mejores propiedades mecánicas y térmicas pero con peores propiedades de impacto.

Además, la presencia de sílice y el bajo contenido en lignina en la cascarilla de arroz podría mejorar la resistencia a llama en comparación con otros rellenos orgánicos.

## 2.4 Matrices

La matriz de un material compuesto soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta; transfiere la carga a las fibras fuertes, las protege de sufrir daños durante su manufactura y su uso y evitan la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto. La matriz, por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto.

De manera sorprendente, en los compuestos se pueden utilizar como matriz materiales cerámicos frágiles. Los compuestos de matrices cerámicas tienen buenas propiedades temperaturas elevadas y son más ligeros que los compuestos de matriz metálica de alta temperatura.

Los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz cerámica. Primero, una grieta que se mueve a través de la matriz encuentra una fibra; si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra, a fin de continuar el proceso de fractura. Además, una mala unión permite que la fibra empiece a separarse de la matriz. Ambos procesos consumen energía, incrementando, por lo tanto, la tenacidad a la fractura. Finalmente, al iniciarse la grieta en la matriz, fibras aun no rotas

pueden formar un puente sobre la grieta, proporcionando un esfuerzo compresivo, que evita que la grieta se abra. [Paniagua, 2008].

## **2.5 Unión Matriz - Fibra**

El comportamiento y las propiedades del material compuesto, están no sólo condicionados por las propiedades de cada uno de los elementos aislados que se acaban de indicar, sino también por la naturaleza y características de la interfase que se forma entre ambos elementos.

La interfase es la responsable de la transmisión de cargas de la matriz a las fibras, lo que condiciona en gran medida a resistencia final del material compuesto. Por supuesto que el mecanismo de transferencia de carga es mucho más importante en los compuestos de fibra corta debido a las concentraciones de tensión que aparecen en los extremos de la fibra.

La naturaleza de la unión fibra-matriz junto a las características aisladas de estos dos componentes condiciona el modo de fisuración del material compuesto. Así, cuando la interfase es muy resistente, las grietas no se propagan a lo largo de las fibras (separando a éstas de la

matriz). De esta forma el refuerzo de la fibra permanece efectivo incluso después de que la fibra, debido a la carga externa se haya roto en algunos puntos separados una cierta distancia a lo largo de su longitud.

Una interfase resistente es también esencial para que el material compuesto experimente una buena resistencia ante acciones transversales así como para una buena defensa ante acciones de agresión ambiental.

La tenacidad a fractura de materiales compuestos puede verse disminuida por una unión fibra-matriz muy alta. La razón está en que esta propiedad limita la aparición de nuevas superficies, que es uno de los mecanismos de absorción de energía en un proceso de fractura, debido a las fisuras que no se propagan a lo largo de la interfase. El nivel de refuerzo de una fibra en un material compuesto depende fundamentalmente de las características de adhesión entre ésta y la matriz [Paniagua, 2008].

La interfase formada entre las fases, matriz-fibra, juega un papel importante en la transferencia de carga desde la matriz hacia las fibras y es la responsable del efecto de refuerzo.

## **2.6 Panel de fibrocemento**

El panel de fibrocemento es un material compuesto de cemento y fibras del tipo lignocelulósico, aglutinado bajo la acción de presión en un tiempo determinado. Las principales características de este material es que sus placas presentan propiedades especiales.

En el proceso de fabricación puede agregarse aglutinantes u otros materiales para mejorar sus características como resistencia mecánica, resistencia al fuego, ataque microbiológico, etc.

Para este caso el cemento actúa como aglutinante, estos paneles tienen mucha aceptación en el campo de la construcción, en donde es utilizado como muro divisorio en zonas húmedas, además para la construcción de casas prefabricadas. Por sus diversas propiedades y bajo costo es un material ampliamente utilizado en la construcción. [Novoa, 2005]

El fibrocemento tiene como componentes originales al asbesto, cumplía la función de fibra de refuerzo en la matriz de cemento. Pero hace aproximadamente 35 años se empezó a dejar de lado debido a los problemas de salud que provocaba.

La composición de las diferentes piezas o láminas de fibrocemento son variables, pero normalmente está referida de la siguiente manera:

- ✓ 35 – 40% de cemento.
- ✓ 10% de aditivos.
- ✓ 15% de fibras.
- ✓ Mezcla con agua.

Las ventajas de estos materiales son fácil de trabajar, versátiles, bajo peso, durabilidad, resisten al fuego, aislantes, permeabilidad entre otros. Pero como todo material tiene algunas desventajas que se deben de superar con las investigaciones, por ejemplo suelen deteriorarse con los trabajos de montaje y desmontaje, quiere decir que en pocas ocasiones es reutilizado.

## **2.7 Materiales**

### **2.7.1 Cascarilla de arroz**

Las fibras de origen vegetal presenta ventajas productivas (disponibilidad, bajo costos de adquisición y facilidad de procesamiento), físicas (baja densidad, características de aislamiento y resistencia

estructural, entre otras), bioquímicas (inocuidad, biodegradabilidad). Las ventajas productivas, fisicotérmicas, ambientales y bioquímicas de las fibras naturales propician su utilización como una alternativa para impulsar el uso racional de los recursos naturales y la preservación ambiental.

La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala de Mohs en estado natural.

Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a unos procesos de combustión, su coeficiente de conductividad térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico, tal y como se puede apreciar en la tabla 1.

**Tabla 1:** Conductividad Térmica.

Material	K (W/m*K)
Lana Mineral	0.0303
Poli estireno Expandido	0.0330
Cascarilla de Arroz	0.0360
Fibra de Vidrio	0.0380
Corcho Aglomerado	0.0450

**Fuente:** Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. (Carolina Cadena, Antonio Bula, 2002).

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema.

Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90 al 97%SiO). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cascara comienza por encima de los 750°C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica. [Giovana, 2002]

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa ( $\pm 40\%$ ) y sílice, presenta un alto contenido de dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), al fundirse con otros óxidos metálicos genera diferentes variedades de vidrio y se utiliza en la fabricación de cementos y materiales cerámicos. Entre los porcentajes más significativos de la cascarilla de arroz se

encuentran las cenizas, tienen un elevado contenido de materia volátil en comparación con los carbones.

El peso y volumen de la cascarilla de arroz ocasionan elevados costos de almacenamiento y transporte para la industria, además por ser poco digestible su uso en la elaboración de alimentos concentrados para animales es restringido. El contenido de humedad de la cascarilla de arroz cuando sale del descascarado varía entre el 5% al 40% después de haber estado a la intemperie (características químicas presenta un 10% de humedad en época de lluvias). [Chur, 2010]

Entre sus ventajas como material de construcción se pueden mencionar:

- ✓ Alto contenido de cenizas
- ✓ Elevado contenido de sílice de las cenizas (90%).
- ✓ Estructura física de la sílice (estructura alveolar de gran superficie específica).
- ✓ Disponibilidad a lo largo del año.
- ✓ Retención de humedad.
- ✓ Material liviano.
- ✓ Material abrasivo.

### **2.7.2 Cemento Pórtland tipo I**

El cemento Pórtland es un alúmino silicato de calcio, patentado por J. Aspdin en 1824, y denominado Pórtland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento incipiente (aproximadamente 1300 °C) de una mezcla de minerales finamente molidos, formados por piedra caliza y arcilla. El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m de diámetro y 100 m de largo.

El material obtenido denominado “clinker” se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente.

El cemento portland tipo I es un material con propiedades adhesivas y cohesivas las cuales dan la capacidad de aglutinar otros materiales para formar un todo, sólido y compacto. [Novoa, 2005].

A continuación se muestra la tabla 2 con los componentes del Cemento Portland.

**Tabla 2:** Componentes del Cemento Portland.

<b>NOMBRE</b>	<b>FORMULA</b>	<b>FORMULA DE OXIDOS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<i>Silicato di cálcico</i>	$CaSiO_4$	$SiO_2 \cdot 2CaO$	32%
<i>Silicato tricálcico</i>	$Ca_3SiO_5$	$SiO_2 \cdot 3CaO$	40%
<i>Aluminato tricálcico</i>	$Ca_3Al_2O_6$	$Al_2O_3 \cdot 3CaO$	10%
<i>Ferro aluminato tetra cálcico</i>	$Ca_4Al_2Fe_2O_{10}$	$Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot 4CaO$	9%
<i>Sulfato de calcio</i>	$CaSO_4$		2-3%

**Fuente:** [Novoa, 2005]

En estos compuestos el magnesio puede reemplazar al calcio, existen también silicatos y ferro aluminatos de sodio y potasio.

Para expresar la composición de un determinado cemento, generalmente se determinan en conjunto los óxidos que forman los compuestos antes mencionados que se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3:** Óxidos Componentes del Cemento

<b>Óxidos Componentes</b>	<b>Fraguado</b>	
	<b>Lento</b>	<b>Rápido</b>
<i>Sílice <math>SiO_2</math></i>	20%	22%
<i>Oxido ácido Sulfúrico <math>SO_3</math></i>	1.6%	2.7%
<i>Oxido Férrico <math>Fe_2O_3</math></i>	4%	4%
<i>Oxido de Aluminio <math>Al_2O_3</math></i>	4%	10%
<i>Oxido de Calcio <math>CaO</math></i>	62%	55%
<i>Oxido de Magnesio <math>MgO</math></i>	2%	2.8%
<i>Oxido de Na y K</i>	0.3%	0.3%
<i>Perdidas por Calcinación</i>	7.4%	3.1%

**Fuente:** [Novoa, 2005]

En forma simplificada podemos decir que en los distintos tipos de cemento su composición varía entre:

*55 – 65% de **CaO + MgO***

*20 - 25% de **SiO<sub>2</sub> + SO<sub>3</sub>***

*8 - 15% de **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>***

Se denominan componentes ácidos al SiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y básicos al CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O; se denomina índice de hidraulicidad a la relación entre éstos componentes, dada por la siguiente expresión:

$$I = (SiO_2 + SO_3 + Fe_2O_3 + Al_2O_3) / (CaO + MgO + K_2O + Na_2O) \quad (2.1)$$

De acuerdo al valor de éste índice los cementos se clasifican en:

- Cementos rápidos:  $0.65 \leq I \leq 1.20$  fraguan en un tiempo menor a 1 hora.
- Cementos lentos:  $0.50 \leq I \leq 0.65$  fraguan en un tiempo mayor a 8 horas.

### ***Fraguado del cemento***

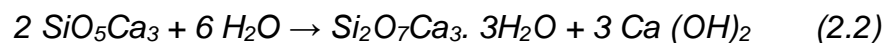
Se denomina fraguado al proceso químico por el cual el cemento adquiere dureza pétreo (proceso irreversible), a diferencia de las cal grasas el fraguado del cemento es hidráulico porque se produce por reaccionar con el agua que provoca el fenómeno de hidrólisis de algunos compuestos y posteriores hidrataciones y re combinaciones. El fraguado se produce en dos etapas:

**Fraguado:** proceso que dura de minutos a 15 horas, en que la masa plástica adquiere rigidez.

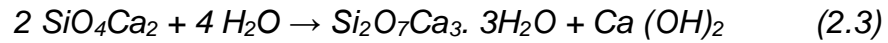
**Endurecimiento:** proceso en que la masa rígida aumenta su dureza y resistencia mecánica que demanda de 28 días a varios años.

Las reacciones en que suceden en esta etapa son complejas, simplificada mente pueden considerarse así:

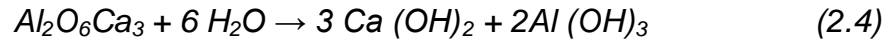
A continuación se muestra las ecuaciones de fraguado del cemento:



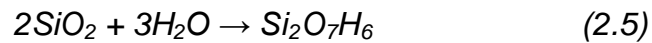
*Gel de tobermorita*



*Gel de tobermorita*



El gel de tobermorita es un tipo de silicato hidratado que podemos considerar proveniente del ácido “ortosilícico” tal como se muestra en la ecuación. 2.5.



### ***Efecto de la adición de Yeso***

El yeso retarda el fraguado inicial del cemento (de molerse el clinker sin yeso fragua instantáneamente), lo cual se debe a que el aluminato tricácico, en presencia del yeso, no se hidrata de inmediato sino que reacciona con el yeso produciendo con ello una doble sal cristalina. [Novoa, 2005]

La adición de yeso no debe superar el 3%, porque de lo contrario, se dilata dentro del cemento fraguado produciendo fisuras. Los cementos difieren en la composición química y características físicas mostrando diferentes propiedades cuando se hidratan.. Se ofrecen comercialmente varios tipos de cemento Portland especiales que se producen para usos específicos.

La tabla 4 nos muestra los principales tipos de cementos:

**Tabla 4:** Principales tipos de Cemento Portland.

<i>Principales tipos de cementos Portland</i>	
<i>Descripción Inglesa</i>	<i>Descripción ASTM</i>
<i>Portland Ordinario</i>	<i>Tipo I</i>
<i>Portland de endurecimiento rápido</i>	<i>Tipo III</i>
<i>Portland de endurecimiento extra – rápido</i>	<i>Rapicreto</i>
<i>Portland de ultra – alta resistencia rápida</i>	<i>Cemento de Fraguado Regulado</i>
<i>Portland de bajo calor</i>	<i>Tipo IV</i>
<i>Cemento modificado</i>	<i>Tipo II</i>
<i>Portland resistente a los sulfatos</i>	<i>Tipo V</i>
<i>Portland de escoria de alto horno</i>	<i>Tipo IS</i>
<i>Portland blanco</i>	<i>Tipo I Blanco</i>
<i>Portland puzolana</i>	<i>Tipo IP</i>

**Nota:** Los cementos tipo I, IS, IP, II y III se elaboran también con un agente inclusor de aire y se denotan, agregándoles una letra A, por ejemplo Tipo IA

**Fuente:** [Novoa, 2005]

Muchos de los cementos se han desarrollado para asegurar una buena duración del concreto sometido a una variedad de condiciones.

Sin embargo, no ha sido posible encontrar en la constitución del cemento una respuesta completa al problema de durabilidad del concreto.

Las principales propiedades mecánicas del concreto endurecido, como resistencia, contracción, permeabilidad, resistencia a la intemperie y fluencia, se ven afectados también por factores distintos a la constitución del cemento.

El cemento Portland I u ordinario, es el más utilizado en todo el mundo. Este cemento es admirablemente apropiado para construcciones de concreto en general, no expuestas a sulfatos del suelo o del agua freática.

Este cemento permite que el aumento de resistencia a la compresión simple de un concreto con curado continuo en agua, con una relación agua/cemento de 0.53, sea de 20MN/m<sup>2</sup> (210 Kgf/cm<sup>2</sup>) entre los 28 días y los 10 años.

## **2.8 Propiedades Físicas y Mecánicas**

### **2.8.1 Resistencia a la Flexión**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto.

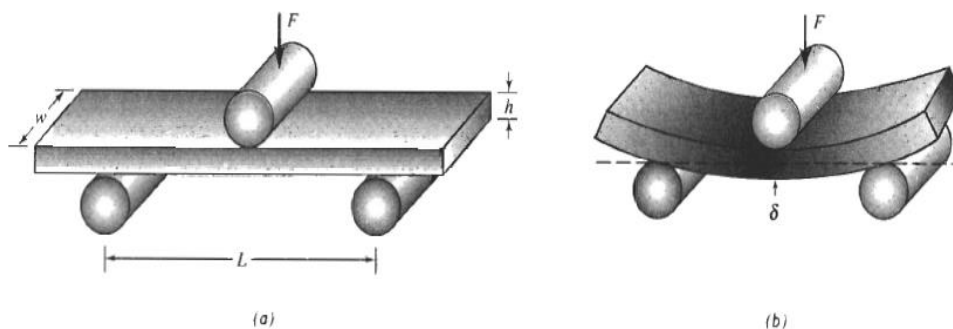
En los materiales dúctiles, la curva esfuerzo – deformación ingenieril generalmente pasa por un valor máximo; este esfuerzo máximo es la resistencia del material a la tensión. La falla ocurre a un esfuerzo menor después de que el encuellamiento ha reducido el área de la sección transversal que soporta la carga. En materiales con poca ductilidad la falla ocurre a la carga máxima, donde la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son las mismas. En materiales muy frágiles, incluyendo muchos cerámicos, el esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tensión y el punto de ruptura tienen un mismo valor. [Calle, 2004]

En muchos materiales frágiles no se puede efectuar con facilidad el ensayo de tensión debido a la presencia de defectos de superficie. A menudo, con solo colocar un material frágil en las mordazas de la máquina de tensión este se rompe. Estos materiales se pueden probar utilizando el ensayo de flexión (figura 2). Al aplicar la carga en tres punto causando flexión, actúa una fuerza que provoca tensión sobre la

superficie, opuesta al punto medio de la probeta. La fractura iniciara en este sitio. La resistencia a la flexión, o módulo de ruptura describe la resistencia del material, viene dada por la ecuación: [Ortiz, 1990].

$$\text{Resistencia a la flexion} = \frac{3FL}{2wh^2} \quad (2.6)$$

Donde F es la carga a la fractura, L la distancia entre los dos puntos de apoyo, w es el ancho de la probeta, y h es su altura.



**Figura 2:** a) Ensayo de flexión utilizado para medir la resistencia de materiales frágiles y b) deflexión  $\delta$  obtenida durante la flexión de la probeta.

**Fuente:** [Ortiz, 1990].

### 2.8.2 Conductividad Térmica

El calor se propaga siempre de un punto con temperatura alta a otro punto con temperatura más baja. De las tres maneras de transferencia de energía (conducción, convección y radiación) la conducción de calor se produce cuando hay contacto directo entre dos cuerpos que tienen diferente temperatura, o cuando entre los dos hay

otro cuerpo ininterrumpido, sin la presencia de movimiento de materia. La conducción es la principal forma de transferencia de calor a través de un elemento arquitectónico vertical o un cerramiento.

El paso de calor a través de un cuerpo no siempre es el mismo; la cantidad de energía que pasa a través de un cuerpo por unidad de tiempo depende de la diferencia de temperatura entre sus dos lados, de la superficie de paso, de su espesor y finalmente de una propiedad o característica particular de ese cuerpo que llamamos coeficiente de conductividad térmica ( $\lambda$ ).

Cuando un material tiene una ( $\lambda$ ) muy alta decimos que es un buen conductor de calor, mientras que si tiene una ( $\lambda$ ) muy baja es un mal conductor o buen aislante. [Gratton, 2003]

La conducción del calor es también un proceso de tipo difusivo, en el cual la energía térmica (que se debe al movimiento aleatorio de las moléculas) se transfiere de una región caliente a una fría, sin que haya un flujo neto de moléculas de una región a otra. Las moléculas de la región caliente tienen en promedio mayor energía cinética que las de la región fría. Debido a las colisiones esa energía en exceso se comparte y

se transfiere a las moléculas circundantes. De este modo el calor difunde a través del medio aun cuando no hay migración neta de moléculas.

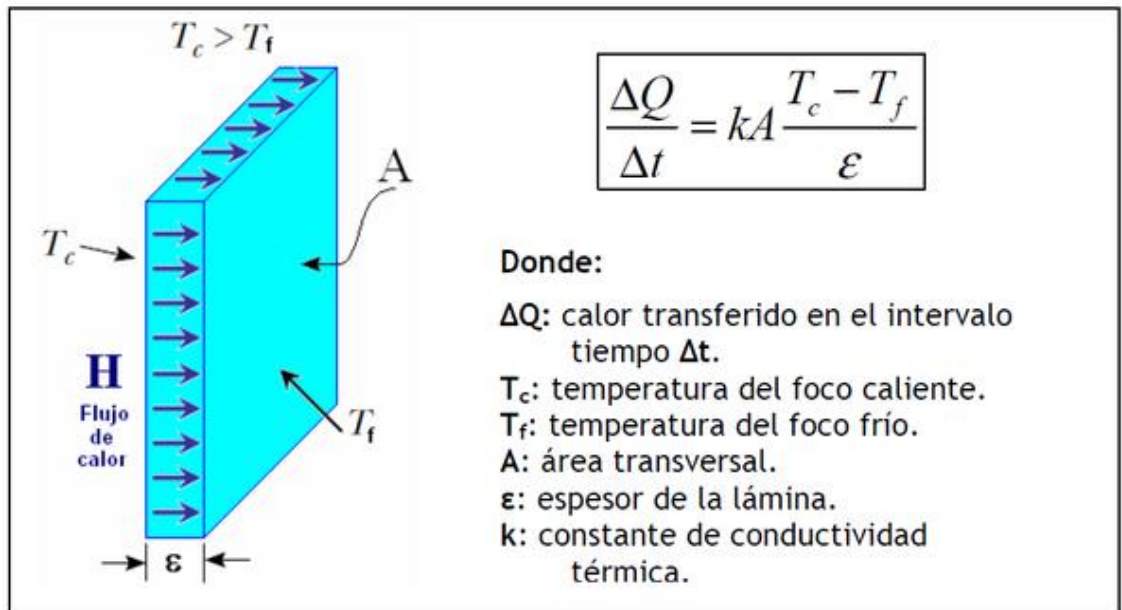
Presentamos ahora las ecuaciones macroscópicas que describen la conducción térmica. Por simplicidad consideraremos problemas que dependen de una sola variable espacial. La diferencia de temperaturas en distintos puntos de un sistema genera los procesos de intercambio de calor, que pueden ser debidos a tres mecanismos: conducción, convección y radiación.

En esta experiencia vamos a estudiar el mecanismo de conducción en sólidos. La base matemática del proceso de conducción es la ley de "Fourier", cuyo enunciado, para sistemas unidimensionales de tamaño finito, caso de una lámina de espesor,  $h$  que se pueda considerar infinitamente extensa, es el siguiente:

Si este material en forma de lámina plana, tal y como aparece en la figura 3, se encuentra en contacto con dos focos térmicos a diferente temperatura  $T_c$  (caliente) y  $T_f$  (frío) y ha alcanzado el régimen estacionario, la cantidad de calor por unidad de tiempo y superficie que atraviesa la placa será proporcional a la diferencia de temperaturas e inversamente proporcional a su espesor, dicha constante de

proporcionalidad se denomina conductividad térmica,  $k$ , del material.

[Gratton, 2003]



**Figura 3:** Esquema del flujo de calor a través de una superficie

Analíticamente el enunciado anterior se puede escribir de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = kA \frac{T_c - T_f}{e} \quad (2.7)$$

En función del valor de la conductividad térmica, los materiales se pueden clasificar en buenos conductores del calor con  $k$  elevadas o malos conductores con  $k$  pequeñas o también conocidos como buenos aislantes.

Para determinar el valor de la conductividad térmica, despejamos este parámetro en la ecuación (2.7) y obtenemos:

$$k = \frac{(\Delta Q)e}{AT_c - T_f(\Delta t)} \quad (2.8)$$

Con relación al trabajo, la baja conductividad térmica de la cascarilla de arroz y de su amplia utilización en poblaciones rurales como aislante térmico, surge esta posibilidad de incursionar en el campo de los materiales de construcción.

Este estudio busca mostrar resultados obtenidos de la aglomeración de la cascarilla de arroz con otros materiales y medir las propiedades térmicas de los paneles de construcción para viviendas.

También se busca el aprovechamiento de estos recursos naturales que permita disminuir el impacto ambiental que estos originan al no utilizarlos.

### **2.8.3 Resistencia al fuego**

La resistencia al fuego es una aplicación directa sobre los elementos de construcción. Se determina el tiempo durante el cual el elemento constructivo es capaz de permanecer cumpliendo la función para la cual ha sido diseñado. La resistencia al fuego representa la

capacidad de un elemento de construcción para mantener su estabilidad mecánica, y no propagar la llama y conservar el aislamiento térmico por un cierto período de tiempo.

De acuerdo con la duración de su capacidad de resistencia al fuego, las componentes constructivas se clasifican en categorías o clases de resistencia al fuego que se designan con la letra F seguida de dos o tres dígitos que establecen la capacidad resistente en minutos.

[Arauco, 2001]

#### **2.8.4 Absorción de Agua**

El ensayo de absorción de agua es la cantidad de agua absorbida por un material compuesto cuando se sumerge en agua durante un período de tiempo. Está definida por la relación del peso, la probeta saturada de agua y la probeta sin absorción de agua.

Se puede definir que todos los materiales poliméricos orgánicos absorben la humedad, teniendo como resultado la decoloración, fragilización, pérdida de propiedades mecánicas y eléctricas, menor resistencia al calor y a la intemperie y agrietamiento por tensión del material.

El procedimiento de prueba consiste en el secado de una muestra a un peso constante, luego sumergirlo en agua para la cantidad especificada de tiempo, y con un peso nuevo. El aumento de peso como un porcentaje del peso original se expresa como su absorción (en porcentaje).

La absorción de agua se expresa de la siguiente manera.

$$Abs. Agua \% = [(W_s - W_d)/W_d] \times 100 \quad (2.9)$$

Donde:

Ws: Masa saturada (g) de la muestra.

Wd: Masa húmeda (g) de la muestra.

## **Capítulo III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Diseño experimental**

Trabajar con partículas de cascarilla de arroz como material de refuerzo en la matriz cerámica (cemento – papel reciclado), son los principales ingredientes para esta mezcla. La finalidad de estos materiales en la mezcla es reforzar el compuesto y lo más importante reutilizar materiales de desecho.

Se procede a elaborar probetas para determinar el porcentaje de cascarilla de arroz adecuado para encontrar la mayor resistencia a la flexión. Luego realizamos los ensayos de conductividad térmica, absorción de agua y resistencia al fuego, con la finalidad de analizar la influencia en la variación del porcentaje de cascarilla de arroz en cada ensayo.

### **3.2 Materiales**

Para la elaboración de las probetas, se utilizaron básicamente los siguientes materiales:

- ✓ Matriz cerámica compuesta (Cemento, papel reciclado) proporcionada por la sección Ingeniería Mecánica (SIM).
- ✓ Cascarilla de arroz.
- ✓ Recipientes.

- ✓ Espátula.
- ✓ Strechfilm.
- ✓ Guantes.
- ✓ Prensa hidráulica.
- ✓ Molino manual.
- ✓ Balanza.
- ✓ Licuadora.
- ✓ Coladores.
- ✓ Molde de aluminio.
- ✓ Tamiz.

**a. Cemento – papel reciclado**

Estos componentes forman parte de la matriz cerámica para el material que vamos a trabajar, el cemento es Portland tipo I de uso comercial para concreto y el papel proviene del reciclado, la combinación de estos viene dada por un estudio previo realizado en la sección de Ingeniería Mecánica que fue patentado por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Esta fase cerámica tiene como función unir las partículas de cascarilla de arroz y actúa como un medio que distribuye y transmite a las partículas los esfuerzos externos aplicados. Otra función de esta matriz es proteger las fibras del deterioro superficial.

## **b. Cascarilla de Arroz**

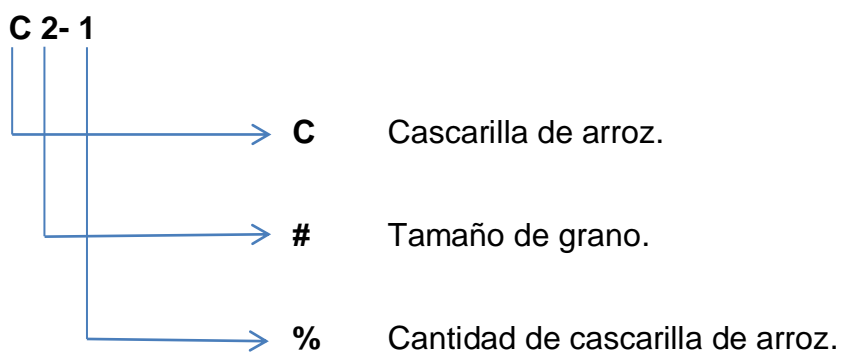
La cascarilla de arroz es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión, su coeficiente de conductividad térmica permite presumir su utilidad como componente principal de sistemas de aislamiento térmico, tal y como se puede apreciar según una comparación de la conductividad térmica de la cascarilla de arroz y algunos aislantes comerciales.

El uso de la cascarilla en este trabajo es encontrarle una utilidad como refuerzo en el compuesto de papel y cemento, la longitud de la fibra será una variable despreciable para este caso. El principal objetivo es encontrar que porcentaje de cascarilla se necesita para la fabricación de paneles.

### 3.3 Descripción del trabajo

Para la elaboración de las probetas de estudio se proseguirá de la siguiente forma:

- ✓ Identificaremos cada probeta de la siguiente manera:



- ✓ Trabajaremos sobre partículas obtenidas de la cascarilla de arroz, para ello la cascarilla será molida y luego tamizada. El número de malla es N°2 siendo el intervalo de partículas  $0,48\text{mm} \leq n < 0,98\text{mm}$ .
- ✓ Con el ensayo de resistencia a la flexión encontraremos los puntos óptimos del porcentaje en peso de la cantidad de cascarilla de arroz.
- ✓ Después de este ensayo someteremos a las probetas al ensayo de conductividad térmica, resistencia al fuego y absorción de agua.

### 3.4 Fabricación de probetas

Se detalla a continuación:

- ✓ Primero se solicita la matriz cerámica proporcionada por la sección de ingeniería Mecánica.
- ✓ Luego se procede a agregar las partículas de cascarilla de arroz, la cantidad de partículas irá variando en una unidad al porcentaje en peso de la cascarilla de arroz hasta llegar al 10%.
- ✓ De manera manual se realiza la mezcla cascarilla de arroz con la matriz cerámica (cemento – papel reciclado).
- ✓ Se procede a colocar la mezcla en el molde de aluminio, realizamos una breve vibración para distribuir la mezcla en todo el molde, evitemos que se forme burbujas de aire en la mezcla.
- ✓ Sellamos el molde y luego se somete a presión por un tiempo de 5 minutos. Este proceso se realizó en el laboratorio de función de la sección ingeniería mecánica.
- ✓ Se retira la probeta y se cubre con stretchfilm para que el secado sea uniforme en toda la mezcla, durante 48 horas.

- ✓ Después de este tiempo se retira el Stretchfilm y se deja secar a la intemperie por 14 días, para que concluya con el proceso de endurecimiento del cemento.

Las figuras 4, 5, 6, 7 y 8 presentamos los materiales utilizados para la elaboración y fabricación del material compuesto.



**Figura 4:** Vista fotográfica de la cascarilla de arroz.



**Figura 5:** Vista fotográfica de la mezcla del cemento –papel reciclado.



**Figura 6:** Vista fotográfica de la mezcla en el molde.



**Figura 7:** Vista fotográfica del prensado.



**Figura 8:** Vista fotográfica como la probeta es fraguada.

**Fuente:** Elaboración propia, 2010.

### **3.5 Métodos de Ensayo**

Se procederá a realizar los ensayos de Resistencia a la flexión, Conductividad térmica, Resistencia al fuego y Absorción de agua.

#### **3.5.1 Ensayo de Flexión**

Con este ensayo determinamos la resistencia del material a esfuerzos de compresión y tensión basada en la Norma ASTM C 1185.

El ensayo consiste en someter a esfuerzos de flexión cada probeta, colocando dos rodillos en la parte inferior, que actúan como soporte, el espaciado entre cada rodillo es de 254 mm y deben estar ubicadas en paralelo y en el centro superior se ubica el otro rodillo que realiza la presión sobre la probeta, la figura 9 muestra la disposición del ensayo.

Se incrementa la carga a un rango deflexión uniforme, la rotura de la probeta debe realizarse en un tiempo aproximado de 30 segundos.

Al finalizar el ensayo se procede a medir el espesor de la probeta en la zona de rotura.

Para calcular la resistencia a la flexión se utilizó la ecuación (2.6).

$$\text{Resistencia a la flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Lo que se busca es optimizar el porcentaje de cascarilla de arroz que muestre la mayor resistencia a la rotura.



**Figura 9:** Vista fotográfica del ensayo de Flexión.

**Fuente:** Laboratorio de Materiales, 2010.

### 3.5.2 Ensayo de Conductividad Térmica

El objetivo de este método es medir el coeficiente de conductividad térmica siendo una propiedad de los materiales que valora la capacidad de transmitir el calor. Veremos si este material se puede clasificar como aislante o conductor térmico.

La conductividad térmica de un cuerpo viene definida por la densidad de flujo que la atraviesa, por la diferencia de temperatura de  $1^{\circ}\text{C}$  (entre las dos temperaturas de cara caliente y cara fría), separadas entre sí por un espesor en unidad de tiempo.

Cuanto más bajo sea el valor de  $K$ , más se opone el mismo a transferir el calor que lo atraviesa, denominándose material aislante térmico.

El procedimiento para este ensayo es colocar una plancha caliente a temperatura  $60^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) sobre ella situar la probeta, luego ubicar un recipiente con agua teniendo como resultado tres capas (capa caliente, probeta, capa fría). En esta última capa se medirá la temperatura que transfiere la capa caliente a la capa fría, la figura 10 muestra la disposición de las tres capas, el registro se realiza con una

termocupla tipo K (-50°C a 1230°C), también se registra el tiempo de exposición con un máximo de 1 hora por cada ensayo.

Para calcular el coeficiente de conductividad térmica utilizamos la ecuación (2.8).

$$k = \frac{(\Delta Q)h}{A(\Delta T)(\Delta t)}$$

Con estos ensayos se verá la influencia que tiene el porcentaje de cascarilla de arroz en el material compuesto. A continuación se muestra el montaje del ensayo de conductividad térmica.



**Figura 10:** Vista fotográfica del ensayo de Conductividad Térmica.

**Fuente:** Laboratorio Análisis Físicos, 2012.

### 3.5.3 Ensayo de Resistencia al fuego

Los ensayos de resistencia al fuego consisten en someter a un elemento de construcción a un calentamiento controlado para evaluar el comportamiento del material.

Los criterios de fallo se van evaluando durante el transcurso del ensayo, y en el momento que un criterio falla, el elemento ensayado se muestra en la figura 11, este ensayo cumplirá por un determinado tiempo.



**Figura 11:** Vista fotográfica del ensayo de Resistencia al Fuego.

**Fuente:** Laboratorio Análisis Físicos, 2012.

### 3.5.4 Ensayo de Absorción de Agua

El objetivo de este ensayo es determinar la tendencia que el material compuesto tiene de absorber el agua, se basa en norma ASTM C1185.

Las medidas de las probetas se acondicionaron a la disponibilidad del material compuesto, la magnitud que determinara la absorción del agua es el peso. Iniciamos con el secado de las probetas en un horno a 90°C, la diferencia entre una medida y otra no debe haber variación de las medidas consecutivas de la masa. El tiempo no debe ser menor a dos horas.

Registrar los pesos después del secado para luego sumergirlas en agua por un tiempo de 48 horas a T=23°C. Después de transcurrido el tiempo, secarlas y proceder a pesarlas.

La ecuación (2.9) nos permitirá calcular el porcentaje de absorción de agua para los distintos porcentajes de la cascarilla de arroz.

$$Abs. Agua \% = [(W_s - W_d)/W_d] \times 100\%$$

El análisis de este ensayo es la influencia en la cantidad de cascarilla de arroz para la absorción de agua.

La figura 12 nos muestra la probeta antes de someterla al ensayo de Absorción de Agua.



**Figura 12:** Vista fotográfica del ensayo de Absorción de Agua.

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Físicos.

## **Capítulo IV: RESULTADOS**

#### **4.1 Ensayo de Resistencia a Flexión**

A continuación mostramos los resultados obtenidos por el ensayo Resistencia a Flexión sometidas a cada probeta.

La Tabla 5 muestra los resultados del ensayo a Resistencia a la Flexión para diferentes porcentajes de cascarilla de arroz.

En la tabla se detalla la cantidad de probetas elaboradas para cada porcentaje de cascarilla de arroz y la medida del espesor promedio realizado después del ensayo, como dato experimental se tiene la carga máxima obtenidos por la data que la máquina de flexión nos brinda en el proceso de ensayo.

Para los cálculos de la resistencia a la flexión se considera la distancia entre apoyos 254mm y el ancho de la probeta 152mm, son valores establecidos por la norma.

**Tabla 5:** Resultados de la Resistencia a Flexión.

Tamaño de Cascarilla # 2 % en peso	Probetas	Espesor (mm)	Carga Máxima P (kN)	Resistencia a Flexión (MPa)	Resistencia a Flexión Promedio (MPa)
C 2-1	B	7.06	0.18	9.15	9.8
	C	7.10	0.21	10.40	
C 2-2	A	7.13	0.24	11.79	11.8
	B	7.03	0.23	11.56	
	C	7.20	0.25	12.19	
C 2-3	A	7.49	0.23	10.19	11.6
	B	7.05	0.23	13.01	
C 2-4	A	7.78	0.26	10.84	10.3
	B	7.73	0.23	9.82	
C 2-5	A	7.82	0.27	10.99	10.2
	B	8.16	0.26	9.60	
	C	7.58	0.23	10.08	
C 2-6	A	8.17	0.29	10.78	10.5
	B	8.18	0.26	9.68	
	C	7.75	0.26	10.95	
C 2-7	B	8.14	0.27	10.26	9.6
	C	8.48	0.24	8.23	
C 2-8	B	8.57	0.27	9.25	8.8
	C	8.61	0.24	7.98	
C 2-9	B	9.00	0.27	8.36	8.6
	C	8.49	0.24	8.25	
C 2-10	A	9.33	0.31	8.96	8.6
	B	8.94	0.26	8.15	

**Nota:** Las probetas fueron preparadas en el 2009, en diferentes meses y ensayadas en el Laboratorio de Materiales sección de Mecánica.

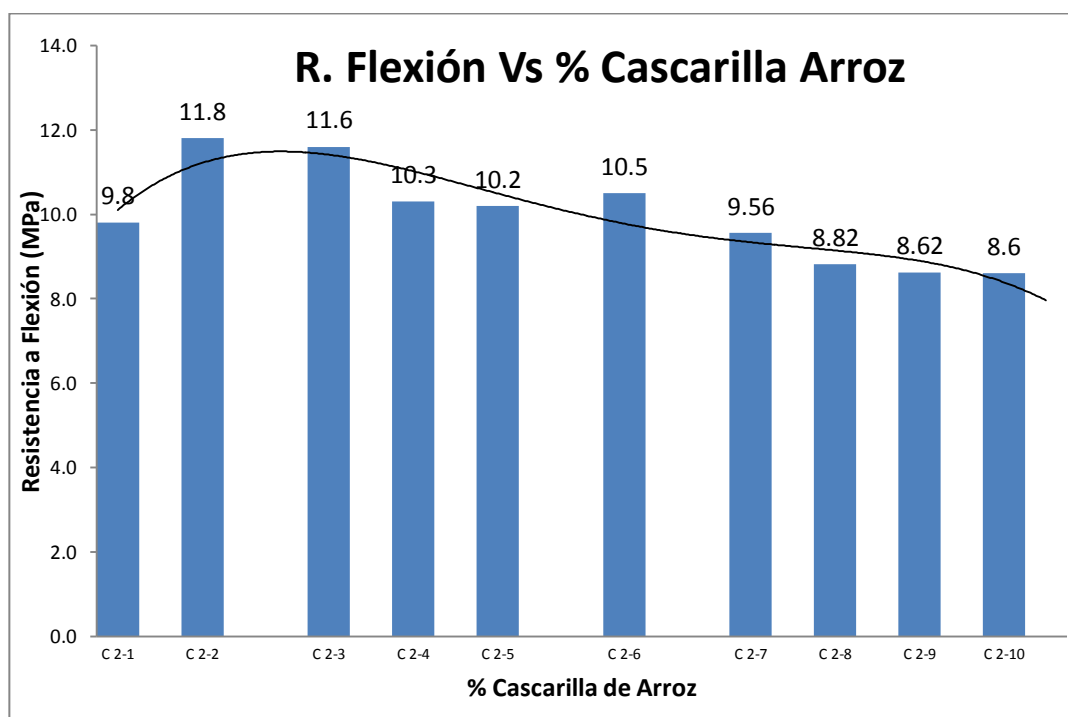
**Fuente:** Elaboración propia, 2011.

Algunas probetas fueron utilizadas para otro ensayo es por ello que para algunos porcentajes observamos dos probetas.

De manera gráfica presentamos los resultados en la figura 13, se puede observar que la resistencia a la flexión disminuye conforme se

incrementa el contenido de cascarilla de arroz desde 11,8MPa en promedio para 2% de cascarilla de arroz hasta 8,6 MPa en promedio para un 10% de cascarilla de arroz. Sin embargo, el grafico también muestra dos puntos donde la resistencia a la flexión es mayor para porcentajes de 2% y 3% de cascarilla de arroz con valores de 11,8MPa y 11,6MPa respectivamente, con estos resultados concluimos que los puntos óptimos para la mezcla se encuentran en ese intervalo.

**Figura 13:** Relación de Resistencia a Flexión y el Porcentaje de Cascarilla Arroz.



**Fuente:** Archivo propio

Se puede concluir que a mayor cantidad de cascarilla arroz en el material compuesto presenta baja resistencia a la flexión, por lo tanto en

un próximo estudio se trabajara con porcentajes mínimos y enfatizar más la adherencia entre refuerzo y matriz a través de tratamientos superficiales a la cascarilla de arroz, también será necesario el uso de técnicas que permitan apreciar la distribución de las fibras con ayuda de un microscopio de espectroscopia electrónica de tal forma que se pueda distinguir que tan uniforme es la dispersión de la cascarilla en todo el compuesto.

#### **4.2 Ensayo de Conductividad Térmica**

A continuación mostramos los resultados obtenidos por el ensayo de Conductividad Térmica sometidas a cada probeta.

La tabla 6 detalla los datos de cada probeta como medida del área, temperatura, espesor y como dato experimental tenemos  $\Delta Q/\Delta t$  proporcionado por el ensayo.

La tabla 7 muestra los resultados de la conductividad térmica para cada probeta y el valor promedio para cada porcentaje. Estos datos podemos mostrarlo de manera gráfica para su mejor apreciación.

Sabemos que la cascarilla de arroz tiene baja conductividad térmica, veremos en la tabla 7 la influencia del porcentaje de cascarilla de arroz para la conductividad térmica.

**Tabla 6:** Datos y medidas de cada probeta.

Tamaño de Cascarilla # 2 Porcentaje en peso	Probetas	$\Delta Q/\Delta t$ Cal/s	$\Delta T$ °C	e mm	A cm <sup>2</sup>
C 2-1	B	0.756	32.580	0.730	228.000
	C	0.863	36.400	0.650	226.500
	A	0.931	31.720	0.785	228.000
C 2-2	B	1.188	33.970	0.730	226.500
	C	0.873	33.660	0.740	228.010
	A	1.166	38.100	0.735	199.120
C 2-3	B	0.748	34.030	0.730	224.990
	A	0.902	31.580	0.770	226.500
	B	0.656	32.640	0.790	226.500
C 2-4	A	0.850	32.260	0.785	228.000
	B	0.614	28.950	0.850	229.520
	C	0.748	30.690	0.820	228.000
C 2-5	A	0.951	30.770	0.825	226.500
	B	0.645	32.320	0.840	229.520
	C	0.925	33.060	0.800	226.500
C 2-6	B	0.572	22.520	0.835	226.500
	C	0.596	27.240	0.865	228.010
	B	0.589	30.690	0.875	226.500
C 2-7	C	1.020	28.030	0.910	226.500
	B	1.121	29.370	0.900	226.500
	C	0.820	29.220	0.900	228.010
C 2-8	A	0.318	14.620	0.940	223.480
	B	1.176	25.350	0.915	228.010

**Nota:** Las probetas fueron ensayadas en el 2012 en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Físicos sección de Física.

**Fuente:** Elaboración propia, 2012.

**Tabla 7: Resultados de la Conductividad Térmica.**

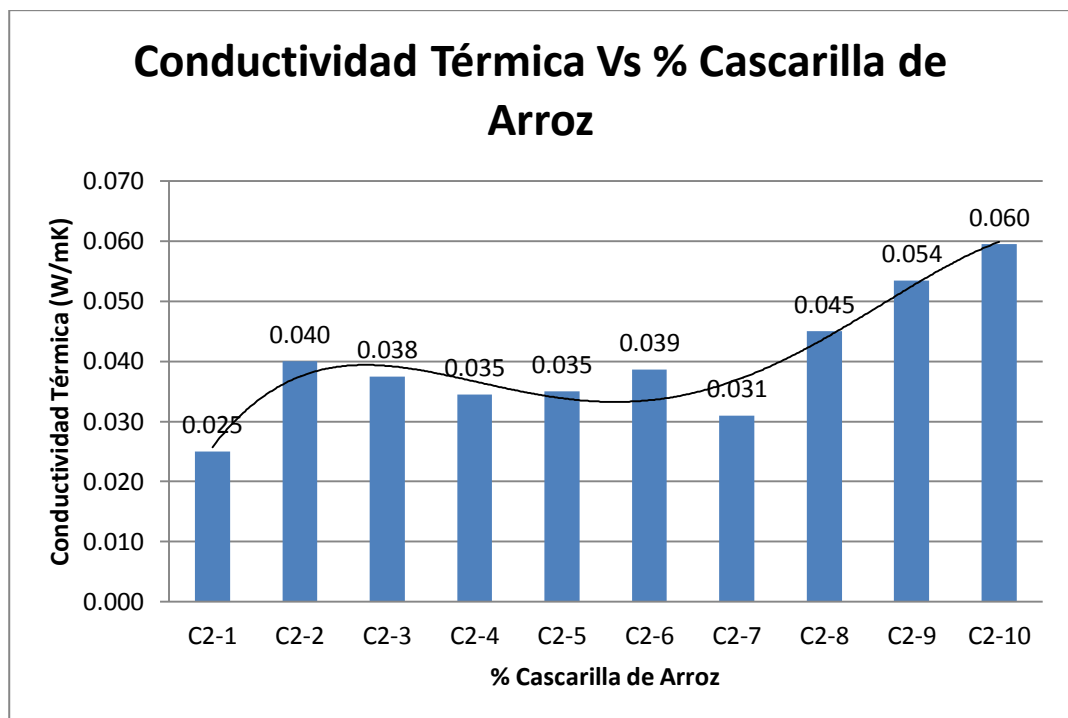
Tamaño de Cascarilla #2 Porcentaje en peso	Probetas	Conductividad Térmica (W/mK)	Conductividad Térmica Promedio (W/mK)
C 2-1	B	0.031	0.030
	C	0.028	
	A	0.042	
C 2-2	B	0.047	0.041
	C	0.035	
	A	0.047	
C 2-3	B	0.030	0.039
	A	0.041	
	B	0.029	
C 2-4	A	0.038	0.035
	B	0.033	
	C	0.037	
C 2-5	A	0.047	0.036
	B	0.031	
	C	0.041	
C 2-6	B	0.039	0.040
	C	0.035	
	A	0.031	
C 2-7	B	0.031	0.037
	C	0.061	
	A	0.063	
C 2-8	B	0.046	0.046
	C	0.046	
	A	0.063	
C 2-9	A	0.038	0.068
	B	0.046	
	C	0.046	
C 2-10	A	0.038	0.058
	B	0.078	

**Nota:** Las probetas fueron ensayadas en el 2012 en las instalaciones del laboratorio de Análisis Físicos sección de Física.

Veamos la figura 14 donde se presenta la relación entre la Conductividad Térmica y el Porcentaje de Cascarilla de Arroz, este gráfico muestra que la Conductividad Térmica aumenta conforme se incrementa el contenido de cascarilla de arroz desde 0,030 W/mK en promedio para 1% en peso de cascarilla de arroz hasta 0,058 W/mK en promedio para un 10% en peso de cascarilla de arroz.

Sin embargo, el gráfico nos muestra que en los puntos óptimos de 2% y 3% de cascarilla de arroz determinados en el ensayo de Resistencia a la Flexión son de 0,041W/mK y 0,039W/mK respectivamente, tienen un comportamiento de baja Conductividad Térmica. Con estos valores podemos concluir que tenemos un material aislante.

**Figura 14:** Relación de conductividad Térmica y el porcentaje de arroz.



**Fuente:** Archivo propio, 2012

Podemos mencionar que el material compuesto es aislante térmico, los valores encontrados se encuentran próximos a la

conductividad térmica de la cascarilla de arroz 0.0360 W/mK. [Sierra, 2009].

Este material de construcción se caracteriza por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían al equilibrio térmico.

#### **4.3 Ensayo de Resistencia al fuego**

A continuación se muestra la Tabla 8 con los resultados obtenidos del ensayo de Resistencia al Fuego sometido a cada probeta para diferentes porcentajes de cascarilla de arroz.

Estos resultados es el valor promedio del análisis realizado de manera individual a cada probeta.

La figura 15 nos muestra que la temperatura aumenta conforme se incrementa el tiempo de exposición de la llama sobre la probeta.

Pero si realizamos un análisis en conjunto de las distintas variaciones en la cantidad de cascarilla de arroz, nos damos cuenta que la variación entre ellas es mínima, quiere decir que el contenido de cascarilla de arroz no afecta en la determinación que este material sea ignífugo, quiere decir, que no propaga llama y no es una material

altamente inflamable, esto debido a que los materiales constituyentes como la cascarilla de arroz y cemento presentan resistencia al quemado.

Para este ensayo contamos con medidas de temperatura en función del tiempo. No fue posible utilizar formulas por ser un análisis cualitativo más que cuantitativo. Queda pendiente realizar un estudio más elaborado en función al tiempo de exposición y dar una clasificación a este material.

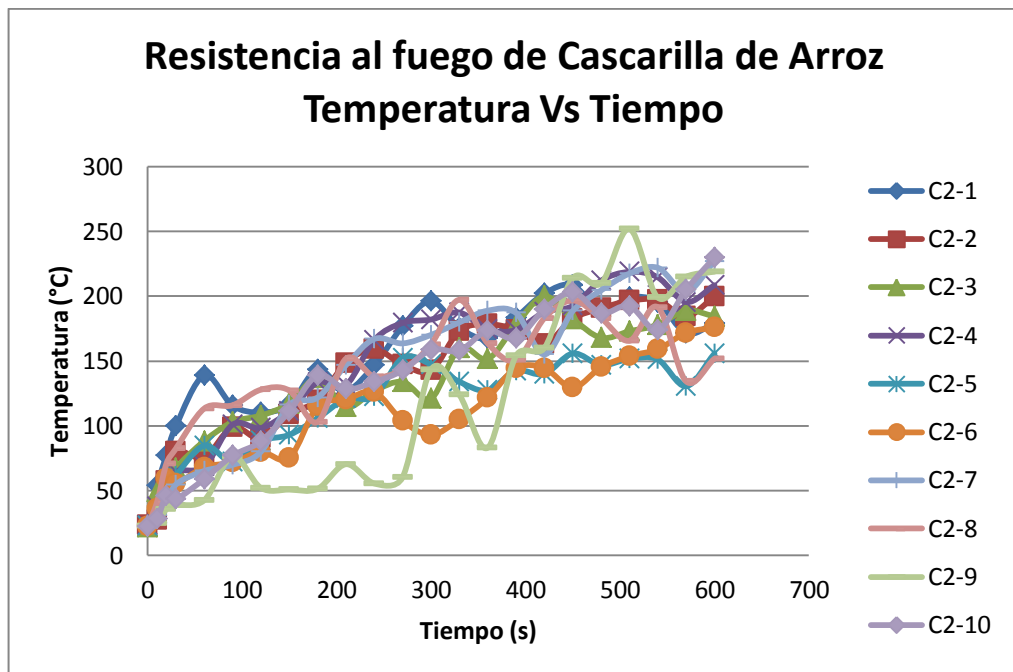
**Tabla 8: Resultados del Ensayo a Resistencia al Fuego.**

Tiempo s	Tamaño de Cascarilla # 2									
	Porcentaje en peso									
	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
0	23.10	23.20	21.80	23.40	22.60	22.20	23.85	23.25	22.60	22.45
10	54.10	27.30	49.20	37.90	31.75	36.20	28.70	41.00	25.00	28.10
20	77.15	57.40	52.90	50.00	53.20	59.50	37.50	70.90	35.70	46.10
30	99.75	80.30	67.45	64.70	61.70	55.20	54.70	82.40	38.80	43.40
60	138.95	75.85	88.25	68.60	84.80	68.00	65.20	113.40	42.60	58.95
90	115.65	98.85	102.95	100.95	72.20	71.75	69.90	115.90	76.40	76.95
120	110.35	90.30	107.95	98.35	88.30	79.80	80.00	127.90	52.10	88.05
150	116.45	108.90	117.25	111.45	93.05	75.20	116.25	127.30	50.80	111.30
180	143.40	119.90	136.75	133.45	105.85	115.00	121.80	103.00	51.40	139.05
210	127.65	148.55	114.50	131.50	120.95	120.30	146.85	151.80	70.40	128.40
240	146.65	159.25	127.10	166.25	122.65	126.20	167.10	138.10	55.50	133.85
270	176.90	147.30	133.90	179.45	152.40	103.70	163.65	143.65	60.40	142.75
300	196.25	142.75	121.05	182.05	147.40	93.10	170.20	162.80	143.50	158.65
330	175.65	173.25	159.95	187.45	134.10	104.75	179.80	197.25	123.90	158.00
360	167.40	178.25	151.60	174.45	127.40	121.50	188.90	163.65	83.10	173.50
390	183.65	174.20	178.15	174.00	142.50	144.55	187.15	150.75	154.10	167.50
420	202.10	163.20	200.00	187.80	140.05	144.55	155.10	183.10	160.00	190.00
450	208.50	182.60	182.50	192.55	155.85	129.55	188.60	196.75	214.00	203.00
480	188.50	190.70	168.00	212.05	146.95	145.20	204.50	183.05	210.00	187.00
510	199.00	196.50	173.00	218.80	151.65	153.85	217.50	165.65	252.00	192.50
540	195.50	197.05	178.00	214.60	151.20	159.10	222.00	191.55	199.00	174.00
570	171.50	184.50	189.00	195.50	130.60	171.70	203.50	134.35	215.00	205.00
600	179.00	199.85	184.50	208.50	155.75	176.00	227.00	151.80	219.00	230.00

**Nota:** Estos ensayos fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de análisis Físicos de la PUCP, 2012.

**Fuente:** Elaboración propia, 2012.

**Figura 15:** Relación de Resistencia al Fuego y el Porcentaje de Cascarilla de Arroz.



**Fuente:** Archivo propio, 2012

Este gráfico muestra la tendencia de la temperatura, que va incrementándose con respecto al tiempo de exposición de las probetas, soportaron muy bien para este intervalo de tiempo, no hubo emanación de gases, el material no termino desintegrándose, podemos decir que es un compuesto no inflamable a pesar de los componentes que presenta como el papel.

Sabemos que la cascarilla de arroz, está formada en un 25 a 30 por ciento de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), elemento que constituye al vidrio,

la arena y los cuarzos. Por lo tanto la cascarilla de arroz es resistente y no propaga el fuego (es ignífugo), contiene la humedad e impide el ataque de hongos y bacterias, microorganismos que dañan al compuesto de cemento y papel.

#### **4.4 Ensayo de Absorción de agua**

A continuación mostramos los resultados obtenidos por el ensayo Absorción de Agua sometidas a cada probeta.

La tabla 9 se expone los resultados finales del ensayo de absorción de agua para diferentes porcentajes de cascarilla de arroz, este ensayo se basa en la norma ASTM C1185.

**Tabla 9: Resultados de Absorción del Agua.**

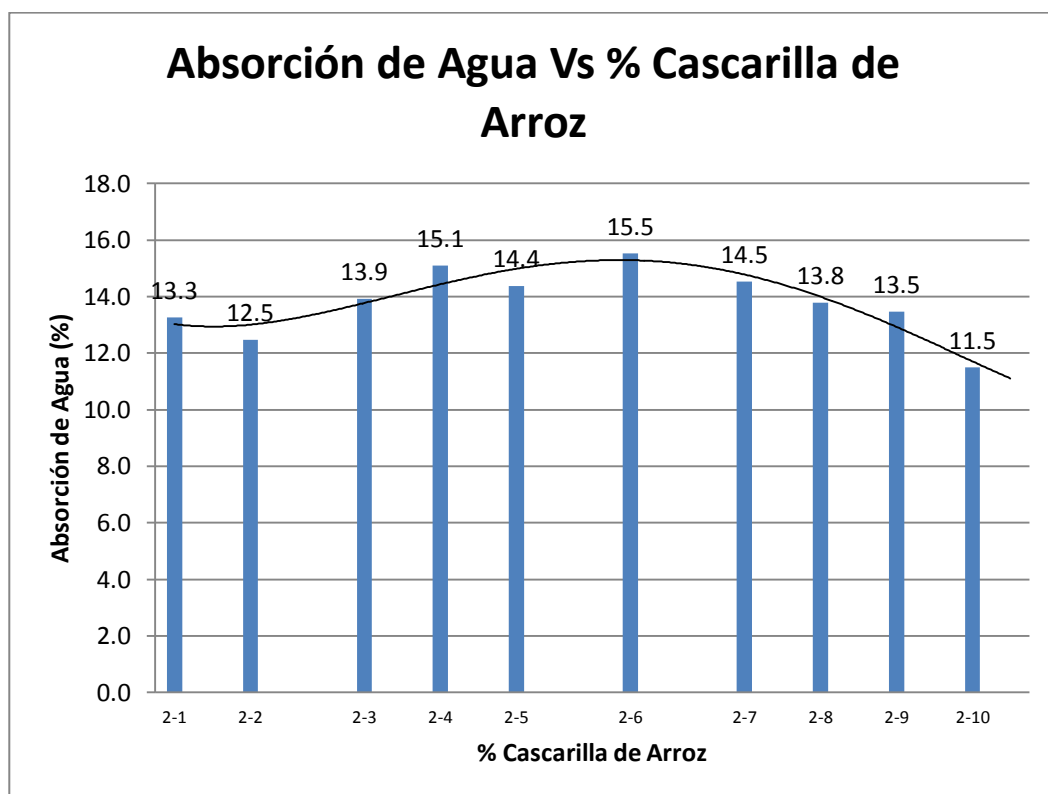
Tamaño de Cascarilla # 2 Porcentaje en peso	Probeta #	Masa seca (g)	Masa Saturada (g)	Absorción de agua %	Absorción de agua Promedio %
2-1	B	305.6	343.2	12.30	13.3
	C	290.4	333.1	14.70	
2-2	A	299.2	337.5	12.80	12.5
	B	282.4	317.5	12.43	
	C	311.7	350.8	12.54	
2-3	A	269.8	303.4	12.45	13.9
	B	285.6	321.8	12.68	
2-4	A	306.5	349.5	14.03	15.1
	B	284.8	327.7	15.06	
2-5	A	312.3	358.9	14.92	14.4
	B	333.5	384.5	15.29	
	C	292.7	330.5	12.91	
2-6	A	288.7	332.5	15.17	15.5
	B	314.3	367.3	16.86	
	C	320.0	366.6	14.56	
2-7	B	314.0	358.3	14.11	14.5
	C	309.0	354.8	14.82	
2-8	B	312.8	358.7	14.67	13.8
	C	330.7	378.3	14.39	
2-9	B	320.2	363.4	13.49	13.5
	C	343.7	389.9	13.44	
2-10	A	340.4	376.3	10.55	11.5
	B	319.9	359.7	12.44	

**Fuente:** Elaboración propia, 2012.

En la figura 16 podemos apreciar que los valores permanecen casi constantes ante la variación de cascarilla de arroz. Es decir, que el material compuesto tiene buena uniformidad en los valores de absorción de agua.

La cascarilla de arroz, por sus características químicas, presenta un carácter hidrofílico, es decir, tiene afinidad con el agua, presentando un 10% de humedad. Los resultados muestran que la absorción de agua del material compuesto oscila entre el valor presentado por la cascarilla de arroz. El incremento en las unidades se debe también a los demás agregados que tiene dicho material.

**Figura 16:** Relación de Absorción de Agua y el Porcentaje de Cascarilla de Arroz.



**Fuente:** Archivo propio, 2012

Si observamos para los valores óptimos de 2% y 3% del contenido de cascarilla de arroz, la absorción de agua es 12,5% y 13,9% respectivamente, estos valores según establece la norma ASTM menciona valores entre el 30 y 90%, según los resultados este material presentan buena resistencia a la absorción de agua.

## **Capítulo V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1 Conclusiones

Como resultado de nuestra investigación hemos llegado a concluir lo siguiente:

Es posible obtener un material compuesto de matriz cerámica (cemento – papel reciclado) con refuerzo de partículas de cascarilla de arroz para ser utilizado en la fabricación de paneles para la construcción de viviendas.

En el ensayo de Resistencia a Flexión se pudo encontrar los puntos óptimos de mezcla entre cascarilla de arroz y matriz cerámica, teniendo 2% y 3% en peso de cascarilla de arroz con valores promedio 11,8 MPa y 11,6 MPa respectivamente, con esta cantidad mínima de refuerzo podemos alcanzar valores máximos de resistencia a la ruptura.

A través del ensayo de Conductividad Térmica determinamos que el material compuesto tiene propiedades de aislante térmico; para los puntos óptimos que arroja el ensayo a la Resistencia a Flexión en 2% y 3% de en peso de cascarilla de arroz obtenemos valores promedios 0.041W/mK y 0.039 W/mK respectivamente, teóricamente se aproxima al valor de la cascarilla de arroz siendo 0.0360 W/mK.

El ensayo de Resistencia al Fuego muestra la misma tendencia para todas las variaciones de porcentaje de cascarilla de arroz, quiere decir que el aumento o disminución de este refuerzo no es determinante para que este producto sea ignifugo, es por ello que con pequeñas cantidades podemos obtener un mismo resultado que agregando mayor cantidad. Podemos esperar que el material compuesto para un intervalo de 2% y 3% en peso de cascarilla de arroz se comporte como un material ignifugo, teniendo un producto no inflamable, no se deteriora durante y después del ensayo y tampoco presenta emanación de gases.

Finalmente con el ensayo de Absorción de Agua se concluye que para todas las variaciones del porcentaje en peso de cascarilla de arroz, los resultados no alcanzan los valores establecidos en la norma de 30% y 90% de absorción de agua, lo que nos da una idea que puede ser ubicado en lugares con alta humedad atmosférica.

Para los valores óptimos de 2% y 3% del contenido de cascarilla de arroz, la absorción de agua es 12,5% y 13,9% respectivamente, valores que están por debajo de lo que establece la norma.

## 5.2 Recomendaciones

Estos resultados preliminares nos dan una idea que es posible encontrar un producto con buenas propiedades mecánicas y físicas, pero un tema importante es la adhesión de la fibra de cascarilla de arroz con la matriz constituida de cemento y papel, lograr esta buena adhesión significaría alcanzar valores mucho más altos para la resistencia a la flexión, que pueda competir con otros productos que contienen otro tipo de refuerzo.

El tema de contar con pequeñas longitudes de la cascarilla hace que el material tenga microtensiones que facilite de alguna manera la ruptura del producto. Es por ello que la modificación de la superficie de la cascarilla es un tema de vital importancia; para ello se debe buscar tratamientos físicos, químicos o mecánicos, pero teniendo siempre en cuenta el principio de conservación y reciclaje, de manera que no contaminemos nuestro entorno. Lo que buscamos es un producto que incluya materiales reutilizables y lograr que la contaminación disminuya.

Por otro lado, se debe realizar un estudio más detallado para el ensayo de resistencia al fuego que nos permita determinar la clasificación de nuestro material.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arauco. (2001). *Comportamiento al Fuego*, Capítulo 3, Colombia.

Askeland, D. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 3ra edición.

International Thomsom Editores.

Behak, L. Perez Nuñez, W. (2008). *Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación*, Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23 N°1, Universidad de la Republica, Uruguay.

Calle, G.Henao, E. (2004). *Determinación de las propiedades mecánicas de los materiales sometidos a flexión*.

Chur Pérez, G. (2010). *Evaluación del uso de la cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería*, Universidad de San Carlos, tesis de grado, Guatemala.

Fonseca Maldonado, M. R. (2006). *Determinación de la composición química de la madera de pino candelillo (pinus maximinoi h. e. moore) procedente de la finca río frío, tactic, alta Verapaz*, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Fuentes Rojas, C. A. (2006). *Estudio de Materiales Compuestos de Cemento, Papel Reciclado y Quitosano para la Fabricación de Calaminas y Paneles Utilizados en la Construcción de Viviendas Económicas*, Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.

- Giovana Cadena, C. / Bula Silvera, A. J. (2002). *Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales*, Universidad del Norte Barranquilla, Colombia.
- Gratton, J. (2003). *Termodinámica e introducción a la mecánica estadística*, Buenos Aires, pag 225-226
- Lárez Velásquez, C. (2006). *Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro*, Grupo de polímeros, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Martínez Castellanos, G. (2009). *Uso de bacterias lácticas en recubrimientos de quitosano para la conservación poscosecha de litchi y rambután*, Tesis de postgrado, Departamento de biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Novoa Carrillo, M. A. (2005). *Elaboración y evaluación de tableros aglomerados a base de fibra de coco y cemento*; Tesis de grado; Universidad de Colima, México
- Ortiz Berrocal, L. (1990). *Resistencia de materiales*, Universidad Politécnica de Madrid, Mc Graw Hill.
- Paniagua, M. / Ossa, A. / Ruiz, G. (2008). *Características de adhesión entre fibras de queratina y poliéster insaturado*, Medellín, Colombia.
- Paris Carballo, F. (2006). *Introducción al análisis y diseño con materiales compuestos*, Sevilla.

- Röben, E. (2003). *El Reciclaje Oportunidades Para Reducir la Generación de los Desechos Sólidos y Reintegrar Materiales Recuperables en el Círculo Económico*, Municipio de Loja/ DED (Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica)
- Ropero Barbosa, L. A. (2008). *Propiedades físicas y ópticas del papel*, Servicio Nacional de Aprendizaje.
- Sierra Aguilar, J. (2009). *Alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de arroz en Colombia*, Tesis de grado, Universidad de Sucre, Colombia.
- Tesina. (2007). *Forjados Mixtos de Chapa Colaborante. Análisis*, Capítulo 5: Estabilidad al Fuego, Proyecto y Construcción.
- Vanegas Useche, L. (2004). *Materiales compuestos inteligentes*, Universidad Tecnológica de Pereira, Scientia et Technica, No 25, Agosto

## **ANEXOS**



Designation: C 1185 – 03

## Standard Test Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 1185; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 These test methods cover sampling and testing of non-asbestos fiber-cement flat sheets, roofing shingles, siding shingles, and clapboards. These products may be smooth or surface textured. These test methods are utilized in evaluating products cited in Specifications C 1186, C 1225, C 1288, and C 1325.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

C 20 Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water<sup>2</sup>

C 1154 Terminology for Non-Asbestos Fiber-Reinforced Cement Products<sup>3</sup>

C 1186 Specification for Flat Non-Asbestos Fiber-Cement Sheets<sup>3</sup>

C 1225 Specification for Non-Asbestos Fiber-Cement Roofing Shingles, Shakes, and Slates<sup>3</sup>

C 1288 Specification for Discrete Non-Asbestos Fiber-Cement Interior Substrate Sheets<sup>3</sup>

C 1325 Specification for Fiber-Mat Reinforced Non-Asbestos Cement Interior Substrate Sheets<sup>3</sup>

#### 2.2 ISO Standards:

ISO 390 Product in Fiber Reinforced Cement Sampling and Inspection<sup>4</sup>

ISO 2859-0 Sampling Procedures for Inspection by Attributes—Part 0: Introduction to the ISO 2859 Attribute Sampling System<sup>4</sup>

ISO 2859-1 Sampling Procedures for Inspection by Attributes—Part 1: Sampling Schemes Indexed by Acceptance Quality Limit (AQL) for Lot-by-Lot Inspection<sup>4</sup>

ISO 3951 Sampling Procedures and Charts for Inspection by Variables for Percent Nonconforming<sup>4</sup>

### 3. Terminology

3.1 **Definitions:** Refer to Terminology C 1154.

3.1.1 **density**—the mass per unit volume expressed in pounds per cubic foot (lb/ft<sup>3</sup>) or kilograms per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>).

3.1.2 **flexural strength**—the average flexural strength is the average of two perpendicular breaks expressed in pound-force per square inch (megapascals) as calculated from the average breaking load of wet or equilibrium test specimens, loaded as simple beams, with the load applied at the center.

3.1.3 **heat-rain sheets**—fixed to a building frame in accordance with the manufacturer's recommended installation practices. The sheeted frame is then subjected to alternate wetting and heating cycles and any structural alteration of the sheet caused by the test is reported.

#### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 **dimensions**—for the purpose of these test methods, the length, width and thickness of fiber-cement flat sheets, roofing shingles, siding shingles, and clapboard are measured under specified conditions.

3.2.2 **moisture content**—for the purpose of these test methods, the percentage of moisture content of the fiber-cement product when conditioned at 50 ± 5 % relative humidity and a temperature of 73 ± 4°F (23 ± 2°C).

3.2.3 **moisture movement**—in these test methods, the linear variation in length and width of test specimen, with change in moisture content.

3.2.4 **water absorption**—for the purpose of these test methods, the increase in mass of the test specimen expressed as a percentage of its dry mass after immersion in water for a specified period of time as prescribed.

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee C17 on Fiber-Reinforced Cement Products and are the direct responsibility of Subcommittee C17.02 on Non-Asbestos Fiber Cement Products.

Current edition approved July 10, 2003. Published August 2003. Originally approved in 1991. Last previous edition approved in 1999 as C 1185 – 99.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.05.

<sup>4</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

#### 4. Sampling and Inspection

4.1 Employ sampling procedures providing an acceptable quality level (AQL) of 4 % at a 90 % confidence level with a sample size given by special inspection level S3, except where specific sampling is required by particular test procedures.

4.2 *Acceptable Quality Level (AQL)*—The acceptable quality level (AQL) may be defined as follows:

4.2.1 The maximum percent nonconforming that, for purposes of sampling inspection, can be considered satisfactory as a process or long-term average, and

4.2.2 A quality level which corresponds to relatively high probability (commonly 90 %) of acceptance.

4.3 *Sample Size*—The sample size is determined according to the inspection lot size by the special inspection level S3 of ISO 2589-1 where the inspection is by attributes or special inspection level S3 of ISO 3951 where the inspection is by variables.

*NOTE 1*—When a manufacturer's process satisfies a sampling scheme with an AQL of 4 % then this indicates that better than 96 % of the inspected production exceeds the specifications. Under this type of specification the consumer is provided the protection and confidence of a clearly defined lower boundary. This would not be true if acceptance were based solely on the average value of the measured property. Examples of sampling schemes which may be used can be found in documents such as ISO 390, ISO 2859-1, or ISO 3951. Other sampling schemes may be used. Inspection by attributes is a method which consists of determining, for every item of a sample, the presence or absence of a certain qualitative characteristic (attribute) with respect to the applicable specification. It is, in essence, a pass-fail inspection which determines the number of items in a sample that do conform to the specification and the number of those that do not conform. An attribute could be a dimensional measurement, or a flexural strength value, or others that are described in these test methods. Inspection by variable is a method which consists of measuring a quantitative characteristic for each item in a sample. Conformance with the applicable specification is determined from the mean values of the measured properties and the statistical variations of these values above and below the mean. These procedures detail sampling plans to suit all common sampling situations. The sampling plans specify the number of specimens to be taken from each batch and the acceptance/rejection criteria. The specified inspection levels have been selected to suit fiber-cement products, to balance the cost of assessment against confidence in results commensurate with this industry.

#### 5. Flexural Strength (Modulus of Rupture)

5.1 *Significance and Use*—This is a routine test measuring a primary product characteristic used for product grading.

##### 5.2 Procedure:

5.2.1 *Preparation of Test Specimens, (Flat Sheets)*—Cut a pair of specimens, each  $6 \pm \frac{1}{16}$  in. ( $152 \pm 1.6$  mm) in width and  $12 \pm \frac{1}{16}$  in. ( $305 \pm 1.6$  mm) in length, from the interior area of each sample sheet in such a manner that no edge of specimen is less than 3 in. (76 mm) from the original edges of the sheet. The longer dimension of one of the specimens of each pair shall be parallel to the length of the sheet (that is, parallel with the fiber lay), and the other shall be at right angles to it.

5.2.2 *Preparation of Test Specimens, (Roofing Shingles, Siding Shingles, and Clapboards)*—Cut a single specimen  $6 \pm \frac{1}{16}$  in. ( $152 \pm 1.6$  mm) in width and  $12 \pm \frac{1}{16}$  in. ( $305 \pm 1.6$  mm) in length from each unit. Cut one half of the specimens in such a manner that the 12-in. (305-mm) dimension of each

specimen is parallel to one edge of the shingle or clapboard unit; cut one half of the specimens at right angles thereto.

*NOTE 2*—Alternate test specimen dimensions and span may be used provided that the ratio of the test span to specimen thickness is not less than 18, and that the actual span used be reported.

##### 5.2.3 Conditioning:

5.2.3.1 *Equilibrium Conditioning*—Place the test specimens, for at least four days [thickness <  $\frac{1}{2}$  in. (12 mm)] or at least seven days [thickness  $\geq \frac{1}{2}$  in. (12 mm)] in a controlled atmosphere of  $73 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity and in such a manner that all faces are adequately ventilated.

5.2.3.2 *Wet Conditioning*—Immerse specimens to be tested in wet condition in water at a temperature of  $73 \pm 7^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 4^\circ\text{C}$ ) for a period of 48 h minimum. Test the specimens immediately upon removal from the water.

5.2.4 *Test Procedure*—Determine the flexural strength of each specimen by placing the underside of the specimen on supports that cannot exert longitudinal constraints [rocker-type bearing edges, rollers, etc. with a  $\frac{1}{8}$ -in. (3.2-mm) minimum radius and a  $\frac{1}{2}$ -in. (12.7-mm) maximum radius] and apply the load at mid-span through a similar edge bearing against the finished surface of the specimen. The test span shall be  $10 \pm \frac{1}{16}$  in. ( $254 \pm 1.6$  mm) and the load line and support shall be parallel. Mount a dial micrometer reading to 0.01 in. (0.25 mm) or an equally sensitive apparatus, to bear on the loading member or on the specimen at mid-span to determine the deflection of the specimen at the center of the test span. Measure and record the deflection when the maximum load is reached. Increase the load at a uniform deflection rate, such as will result in failure of the specimen between five and thirty seconds. The error in the load reading shall not exceed 1 % of the maximum load.

*NOTE 3*—Alternate test specimen dimensions and span may be used provided that the ratio of the test span to specimen thickness is not less than 18, and that the actual span used be reported.

5.2.4.1 Measure the specimen thickness, for the flexural test, at four points along the line of break for an average result. This measurement may be completed either before or after load testing. The thickness gage shall have flat parallel anvils of between 0.4-in. (10-mm) and 0.6-in. (15-mm) diameter with an accuracy of  $\pm 0.002$ -in. ( $\pm 0.05$ -mm). Determine face-textured product thickness from volume measurement by water displacement using the formula:

$$t = \frac{V}{L \times W} \quad (1)$$

where:

$t$  = specimen thickness, in.,  
 $V$  = volume, determined by water displacement, in.<sup>3</sup>,  
 $L$  = length, in., and  
 $W$  = width, in.

*NOTE 4*—Alternative methods for determination of average thickness of textured product may be used provided that they can be proven, on average, to yield a thickness measurement within  $\pm 2\%$  of that determined from volume measurement by water displacement.

##### 5.3 Calculation and Report:

5.3.1 Calculate the flexural strength for each specimen by the following equation:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2)$$

where:

- R* = flexural strength, psi (MPa),
- P* = maximum load, lb (N),
- L* = length of span, in. (mm),
- b* = width of specimen, in. (mm), and
- d* = average thickness, in. (mm).

The average flexural strength of the specimen pair shall be the arithmetic mean value obtained in the two directions. Report the arithmetic mean value of each pair.

5.3.2 It shall be the option of the manufacturer to report the handleability index of his product. Handleability index values are relative and are used to determine the capability of the material to be handled without breaking. An increase in handleability index means increased ease of handling. For each sheet direction, calculate handleability index using the formula:

$$U = \frac{0.5PA}{t} \quad (3)$$

where:

- U* = handleability index, in., lb/in. (mm, N/mm),
- P* = breaking load, lb (N), in each direction at a span of 10 in. (254 mm),
- Δ* = ultimate deflection, in. (mm), under center loading at a span of 10 in. (254 mm), and
- t* = thickness of the test specimen, in. (mm).

5.3.3 Calculate the breaking moment (roofing products only) for each sample specimen by the following equation:

$$M = \frac{PL}{4b} \quad (4)$$

where:

- M* = breaking moment, ft. lbf/ft (Nm/m),
- P* = maximum load, lbf (N),
- L* = length of span, ft (m), and
- b* = width of specimen, ft (m).

Report the arithmetic mean value for the sample specimen group.

5.4 Calculate the modulus of elasticity (interior substrate sheets only) for each sample specimen by the following equation:

$$E = (P_2 - P_1) \times L^3 / 4bd^3 (y_2 - y_1) \quad (5)$$

where:

- E* = modulus of elasticity, psi (kg/mm<sup>2</sup>),
- P*<sub>2</sub> and *P*<sub>1</sub> = loads, lb (kg), taken from two points within the linear section of the plot,
- y*<sub>2</sub> and *y*<sub>1</sub> = deflections, in. (mm) corresponding to the loads selected,
- b* = width of specimen, in. (mm),
- d* = thickness of specimen, in. (mm), and
- L* = length of span, in. (mm).

5.5 Precision and Bias:

5.5.1 Precision—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for measuring flexural strength is being determined.

5.5.2 Bias—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for measuring flexural strength, no statement on bias is being made.

## 6. Density

6.1 Significance and Use—The uniformity of density results are used for quality control assurance.

6.2 Procedure:

6.2.1 Preparation of Test Specimen—Use a test specimen from the flexural test or a specimen of equivalent dimension.

6.2.2 Testing Procedure—Determine the volume of the specimen by any method capable of giving a result accurate to within 2 % of the results obtained by the water displacement method. Determine the mass by drying out the test specimen in an oven at 194 ± 4°F (90 ± 2°C) until the difference between two consecutive weighings, at intervals not less than two hours, is less than 0.1 % by mass.

Note: 5—Water displacement can be obtained per Test Methods C 20, in which volume (*V*) of the test specimen is obtained in cubic centimetres by subtracting the suspended weight (*W*) from the saturated weight (*S*), both in grams as follows:

$$V = W - S \quad (6)$$

where:

- V* = volume, cm<sup>3</sup>,
- W* = saturated weight, g, and
- S* = suspended weight, g.

This assumes that 1 cm<sup>3</sup> of water weighs 1 g. This is true within about three parts in 1000 for water at room temperature. Suspended weight (*S*) is obtained for each test specimen by suspending the specimen in a loop or tangle of AWG gage No. 22 (0.644 mm) copper wire hung from one arm of the balance. The balance shall be previously counter balanced with the wire in place and immersed in water to the same depth as is determining the suspended weight, blot each specimen lightly with a moistened smooth linen or cotton cloth to remove all drops of water from the surface, and determine the saturated weight (*W*) in grams by weighing in air to the nearest 0.1 g.

6.3 Calculation and Report—Calculate and report the density of the specimen in pounds per cubic foot (lb/ft<sup>3</sup>) using the equations:

$$\text{density} = \frac{W}{V} \times \frac{1}{2.54} \times \frac{1728}{1} \quad (7)$$

where:

- W* = dry mass of specimen, g, and
  - V* = volume, in.<sup>3</sup>,
- or in kilograms per cubic metre (kg/m<sup>3</sup>) using the equation:

$$\text{Density} = \frac{W}{V} \times 1\,000\,000 \quad (8)$$

where:

- W* = dry mass of specimen, g, and
- V* = volume, mm<sup>3</sup>.

6.4 Precision and Bias:

6.4.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for measuring density is being determined.

6.4.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for measuring density, no statement on bias is being made.

## 7. Dimensional Measurements

### 7.1 Significance and Use:

7.1.1 These are routine measurements for determining whether the length and width of the individual units are ordered, to ensure that they fit together properly in application, and to determine the uniformity of the specified thickness.

7.1.2 In determining the thickness of a sheet having a textured or granulated surface, a metal plate is placed adjacent to the textured surface, and the micrometer readings are taken on the combined thickness of the sheet and the metal plate. The purpose is to obtain a more accurate overall thickness measurement of the textured or granulated sheet. This would be rather difficult to do, in many cases, because of surface irregularities when the plate is not used.

7.2 *Conditioning*—Condition the specimens to be tested in an environment of  $73 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) temperature and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for 48 h. Condition specimens for all dimensional measurement tests.

### 7.3 Measurement of Thickness:

7.3.1 *Flat Sheets Measurement of Thickness*—Take thickness measurements at the midpoint along each edge dimension with a gage capable of reading to an accuracy of 0.002 in. (0.05 mm).

7.3.2 *Textured or Granulated Sheets*—Measure the thickness of each test specimen by placing a smooth metal plate of uniform thickness with dimensions approximately  $\frac{1}{8}$  by 4 by 4 in. (0.4 by 102 by 102 mm) against the finished, textured, or weather-exposed surface of the specimen. Using a gage capable of reading to 0.002 in. (0.05 mm), measure the overall thickness of the metal plate and specimen at the approximate midpoint of each edge of the specimen and at least  $\frac{1}{2}$  in. (12.7 mm) from the edge of the specimen.

7.3.2.1 *Flat Sheets*—Average the four measurements and record as the specimen thickness.

7.3.2.2 *Textured or Granulated Sheets*—Subtract the measured thickness of the metal plate from each measurement and average four measurements to give the specimen thickness. This method shall not be used for calculation of flexural strength and density.

7.4 *Flat Sheets Measurement of Squareness*—Measure the length of the diagonals, as well as the edge lengths of the sheets, with a steel tape capable of reading to an accuracy of  $\frac{1}{32}$  in. (0.7 mm).

7.5 *Flat Sheets Measurement of Edge Straightness*—Measure the greatest distance between the edge of the sheet and a string or wire stretched from one corner of the panel to the adjacent corner with a steel rule capable of reading to an accuracy of  $\frac{1}{32}$  in. (0.7 mm).

7.6 *Flat Sheets Measurement of Length and Width*—Take three measurements of each dimension with a steel tape capable of reading to an accuracy of  $\frac{1}{32}$  in. (0.7 mm).

### 7.7 Precision and Bias:

7.7.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for dimensional measurements is being determined.

7.7.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for dimensional measurements, no statement on bias is being made.

## 8. Moisture Movement

8.1 *Significance and Use: Moisture Movement*—This test is used to determine the serviceability of product in areas of high humidity and exposure to moisture.

8.2 *Test Specimen*—The test specimens shall be 3 in. (76 mm) in width and at least 12 in. (305 mm) in length. Provide two specimens, one cut parallel with the long dimension of each sheet and one from the same sheet cut at right angles to the long dimension.

8.3 *Conditioning*—Condition each specimen to practical equilibrium at a relative humidity of  $30 \pm 2\%$  and a temperature of  $73 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Practical equilibrium is defined as the state of time change in weight where, for practical purposes, the specimen is neither gaining nor losing moisture content more than 0.1 wt. % in a 24-h period.

8.4 *Procedure*—Measure the length of each specimen in a dial gage comparator using a standard bar of the same nominal length as the specimen for reference, or any other method capable of measuring each specimen to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). Then condition the specimens to practical equilibrium at a relative humidity of  $90 \pm 5\%$  and a temperature of  $73 \pm 6^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 3^\circ\text{C}$ ). Measure the length of each specimen in a dial gage comparator or any other method capable of measuring each specimen to the nearest 0.001 in. (0.02 mm). If bowing is evident, choose a method that will record measurements on both sides of the test specimen and average the results.

8.5 *Calculation and Report*—Report the linear change in moisture content as the percentage change in length based on the length at relative humidity change of 30 to 90:

$$\text{Linear change, \%} = \frac{(L)_{\text{at } 90\%} - (L)_{\text{at } 30\%} \times 100}{(L)_{\text{at } 30\%}} \quad (9)$$

### 8.6 Precision and Bias:

8.6.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for moisture movement is being determined.

8.6.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for moisture movement, no statement on bias is being made.

## 9. Water Absorption

9.1 *Significance and Use*—This is a routine test. The values are relative. The test is made to determine the tendency of a product to absorb water and sometimes determine uniformity of the product.

### 9.2 Procedure:

9.2.1 Dry each specimen of minimum size of 4 by 4 in. (100 by 100 mm) to constant weight in a ventilated oven at a temperature of  $194 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $90 \pm 2^\circ\text{C}$ ) and cool to room temperature in a desiccator or desiccator-type cabinet. Weigh

each cooled specimen separately on a scale of an accuracy of 0.5 % of specimen mass. Record the dry weight of each cooled specimen. Submerge the specimen for  $48 \pm 8$  h in clean water at  $73 \pm 7^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 4^\circ\text{C}$ ).

9.2.2 Remove each specimen from the water, wipe with a damp cloth, and weigh each specimen separately on a scale of an accuracy of 0.5 % of specimen mass.

9.3 *Calculation and Report:*

9.3.1 Calculate the water absorption value for each specimen as follows:

$$\text{water absorption, mass \%} = [(W_s - W_d)/W_d] \times 100 \quad (10)$$

where:

$W_s$  = saturated mass, lb (g) of specimen, and

$W_d$  = dry mass, lb (g) of specimen.

9.3.2 Report the water absorption as the average value for all specimens tested.

9.4 *Precision and Bias:*

9.4.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for water absorption is being determined.

9.4.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for water absorption, no statement on bias is being made.

## 10. Moisture Content

10.1 *Significance and Use*—This is a routine test. Nominal values and tolerances for moisture content shall be declared by the manufacturer for his products.

10.2 *Procedure:*

10.2.1 *Preparation of Test Specimen*—Use a test specimen from the flexural test. When for any reason additional determination of moisture content are required, prepare separate samples. These moisture content specimens shall be the full thickness of the material and 3 in. (76 mm) wide and 6 in. (152 mm) long.

10.2.2 *Conditioning*—Condition as stated in 5.2.3.1.

10.2.3 *Testing Procedure*—After equilibrium conditioning, weigh each sample separately on a scale to an accuracy of 0.5 %. Note this mass as initial mass ( $w$ ). Dry each specimen to constant mass in a circulated oven at a temperature of  $194 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $90 \pm 2^\circ\text{C}$ ) and cool to room temperature in a desiccator-type cabinet. Record the dry mass of each cooled specimen and note as final mass when oven-dry ( $F$ ).

10.3 *Calculation and Report*—Calculate the moisture content as follows:

$$M = 100 [(W - F)/F] \quad (11)$$

where:

$M$  = moisture content, %,

$W$  = initial mass, lb (kg), and

$F$  = final mass when oven-dry, lb (kg).

10.4 *Precision and Bias:*

10.4.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for moisture content is being determined.

10.4.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for moisture content, no statement on bias is being made.

## 11. Water Tightness

11.1 *Significance and Use*—This test is used to determine the serviceability (water tightness) of product when subjected to a determined water head for a protracted period.

11.2 *Test Specimens*—Cut the test specimens to 24 by 20 in. (610 by 508 mm) minimum, from at least three sampled sheets. Cut one specimen from each sheet with a total of three specimens for each test. Where product size is less than 24 by 20 in. (610 by 508 mm) use the largest size product as the test specimen.

11.3 *Procedure*—Keep the 24 by 20-in. (610 by 508-mm) test specimens in a controlled environment for at least five days at an ambient temperature [exceeding  $41^\circ\text{F}$  ( $5^\circ\text{C}$ )]. Place and seal a suitable frame 22 by 18 in. (559 by 457 mm) minimum on top of the face of the specimen and fill with water to a height of 2 in. (50 mm) above the face of the sheet. Place the specimen in a controlled environment at  $73 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) and  $50 \pm 5$  % relative humidity for a period of 24 h.

11.4 *Calculation and Report*—Examine the specimen with the unaided eye and report any formation of drops of water on the underside of the sheet. Report the thickness of the product tested.

11.5 *Precision and Bias*—No statement is made about either the precision or bias of Test Methods C 1185 for measuring water tightness since the result merely states whether there is conformance to the criteria for success specified in the procedure.

## 12. Freeze/Thaw—Cladding Products

12.1 *Significance and Use*—This test investigates the possible degradation of the product due to exposure to repeated freeze or thaw cycles, or both. This test is a comparative one and is only significant for as-received products.

12.2 *Test Specimens*—The test specimens shall be 6 by 12 in. (152 by 305 mm) cut from at least five sampled sheets as delivered by the manufacturer. Cut two pairs of two specimens from each sheet with a total of ten pairs of specimens for this test.

12.3 *Procedure:*

12.3.1 Divide the paired specimens to form two sets of paired specimens each.

12.3.2 Submit the first set of ten specimens to the saturated flexural strength test according to Section 5.

12.3.3 Saturate the remaining set of ten specimens by immersing in water of a temperature greater than  $41^\circ\text{F}$  ( $5^\circ\text{C}$ ) for a minimum of 48 h. Then seal each specimen separately in a plastic bag. The plastic bag shall have a thickness between 8 mils (0.2 mm) and 12 mils (0.3 mm). The length and width of the plastic bag shall not exceed the length and width of the sample by more than 20 %, respectively. Subject the specimens to freeze/thaw cycles consisting of:

12.3.3.1 Cool to  $-4 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) over a period of not less than one hour nor more than two hours. Hold the specimens at  $-4 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) for one hour.

12.3.3.2 Thaw to  $68 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) over a period of not less than one hour and a maximum of two hours. After thawing, maintain the specimens at  $68 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) for one hour before proceeding with freezing.

(1) Each freeze/thaw cycle shall have a minimum cycle time of four hours and a maximum of six hours.

(2) The freezer unit shall have a forced-air circulation capable of being regulated to the prescribed freezing condition with a full load of test specimens.

(3) The total number of freeze/thaw cycles shall be as specified in the applicable standard specification.

(4) Freeze/thaw cycles may be controlled automatically or manually.

(5) An interval between cycles, maximum 48 h, is permissible. During this interval, store specimens in warm condition at  $68 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

(6) During both freezing and thawing, position the specimens to enable free circulation of the conducting medium (air or water) around each bag.

**12.4 Calculation and Report:**

12.4.1 Examine the specimens with the unaided eye in order to detect possible cracks, delamination, and other defects, and record any observations.

12.4.2 Saturate the specimens and test the flexural strength ( $F_f$ ) according to Section 5.

12.4.3 Calculate and report the ratio ( $R$ ) of the strength averaged for the set undergoing freeze/thaw cycles ( $F_f$ ) to the strength averaged for the control of reference set ( $F_r$ ).

$$R = F_f/F_r \tag{12}$$

**12.5 Precision and Bias:**

12.5.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for freeze/thaw is being determined.

12.5.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for freeze/thaw, no statement on bias is being made.

**13. Warm Water**

13.1 *Significance and Use*—This test investigates the long-term chemical interaction of constituent materials. Wet and elevated temperature conditions are used to accelerate the results. This test is a comparative one and is only significant for products as delivered.

**13.2 Sampling:**

13.2.1 Sample five or more sheets as delivered by the producer. Cut ten sets of paired specimens to suit the flexural strength test, in accordance with 5.2.1.

13.2.2 Cut each specimen pair from the same sheet and uniquely number for later comparison of results. Two pairs of specimens may be cut from the sheet.

**13.3 Procedure:**

13.3.1 Divide the paired specimens to form two sets of ten specimens each.

13.3.2 Submit the first lot of ten specimens to the saturated flexural strength test, as specified in Section 5, and at the same time immerse the ten specimens of the second lot in water saturated with an excess of lime and maintained at  $140 \pm 4^\circ\text{F}$

( $60 \pm 2^\circ\text{C}$ ) for  $56 \pm 2$  days. At the end of this period, place the specimens in a conditioning chamber at  $73 \pm 4^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ) and  $50 \pm 5\%$  relative humidity for  $48 \pm 2$  h.

13.3.3 Examine the specimens with the unaided eye in order to detect possible cracks, delamination, or other defects, and record any observations.

13.3.4 Carry out the flexural strength test as specified in Section 5, after preliminary conditioning for wet strength.

**13.4 Calculation, Interpretation of Results, and Report:**

13.4.1 For each pair of specimens ( $i = 1$  to 10), calculate the individual ratio ( $r_i$ ) as follows:

$$r_i = t/c_i \tag{13}$$

where:

$t$  = flexural strength after warm water immersion, and

$c$  = control flexural strength.

13.4.2 Calculate and report the average ( $\bar{x}$ ) and the standard deviation ( $S$ ) of the individual ratios ( $r_i$ ). The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x)^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}{(n-1)}} \tag{14}$$

where:

$s$  = estimated standard deviation,

$x$  = value of single observation, and

$n$  = number of observations.

13.4.3 Calculate and report the 95 % lower confidence estimate of the ratio as follows:

$$L_{95} = \bar{x} - 0.58 s \tag{15}$$

where:

$\bar{x}$  = arithmetic mean of the set of observations, and

$s$  = estimated standard deviation.

**13.5 Precision and Bias:**

13.5.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for warm water is being determined.

13.5.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedure in Test Methods C 1185 for warm water, no statement on bias is being made.

**14. Heat/Rain—Wall Structures**

14.1 *Significance and Use*—This test is used to assess the installed performance of the produce under cyclic changes in moisture content.

14.2 *Test Specimens*— Sheet specimens used for the test shall be drawn at random from stock of finished products. The number of sheets required will depend upon the manufacturer's installation recommendations and on the size of the sheets to be tested.

**14.3 Procedure:**

14.3.1 Assemble a test frame, according to the manufacturer's recommendations, that simulates the rigidity of the field installation. The frame construction should include provisions for at least one sheet joint in its central region. The perimeter

of the frame should allow for standard sheet edge finishing. The construction of the frame should meet the following requirements:

- 14.3.1.1 A minimum of 37.7 ft<sup>2</sup> (3.5 m<sup>2</sup>),
- 14.3.1.2 Allow sheets to be installed with normal orientation,
- 14.3.1.3 Allow installation of at least two sheets as follows, and
- 14.3.1.4 Avoid any significant external air flow during test period.
  - (1) Area per sheet >19.4 ft<sup>2</sup> (1.8 m<sup>2</sup>) for 2 specimens,
  - (2) Area per sheet <19.4 ft<sup>2</sup> (1.8 m<sup>2</sup>) or a sufficient number of specimens to cover an area of 37.7 ft<sup>2</sup> (3.5 m<sup>2</sup>), and
  - (3) If the combined area of the sheets exceeds 37.7 ft<sup>2</sup> (3.5 m<sup>2</sup>) the sheet lengths may be reduced to provide a test area not less than 37.5 ft<sup>2</sup> (3.5 m<sup>2</sup>).
- 14.3.1.5 Avoid any significant external air flow during the test period.

14.3.2 Fix the sample sheets to the test frame, observing all manufacturer's recommendations. The edge fixing distance shall be the minimum allowed. The center distance between fixing shall be the maximum allowed. Include all weatherproofing and other attachments normally specified in the assembly. Where sheets are recommended to have overlapping joints, assemble the test frame accordingly. Set the sheeted test frame in a vertical position. Provide a water spray station to wet one surface, along with a heating station, to provide uniform radiant heat. Subject the sheeted test frame to the number of cycles specified in the applicable standard specification meeting the following requirements.

- 14.3.3 Water spray at a rate of 1 gal/min for a period of 2 h, 55 min, water temperature not to exceed 86°F (30°C),
- 14.3.4 Pause for a period of 5 min,
- 14.3.5 Radiant heat to give a measurement plate (1) temperature across the complete test frame surface of 140 ± 9°F (60 ± 5°C) for a period of 2 h, 55 min, and
- 14.3.6 Pause for a period of 5 min.

**NOTE 6**—A measurement plate is defined as an aluminum plate 2 by 2 in. (50 by 50 mm) of 0.040-in. (1-mm) thickness having a black matte finish. A suggested method for obtaining a black matte finish is to completely blacken the measurement plate with soot from a burning candle. The measurement plate shall have a thermal couple or similar device attached to the surface of the plate.

14.4 **Report**—On completion of the final test cycle, inspect the sheets with the unaided eye and report any damage or structural alteration caused by the test.

14.5 **Precision and Bias**—No statement is made about either the precision or bias of Test Methods C 1185 for heat/rain—wall structures, since the result merely states whether there is conformance to the criteria for success specified in the procedure.

## 15. Heat/Rain—Roof Structures

15.1 **Significance and Use**—This test is used to assess the installed performance of fiber cement roofing products under cyclic changes in moisture content.

15.2 Fiber cement roofing materials are fastened to a roofing frame in accordance with the manufacturer's recommended installation practices. The assembled frame is then subjected to

alternate wetting and heating cycles, and any structural alteration of the roofing materials caused by the test is reported.

15.3 **Test Specimens**—Fiber cement roofing product specimens used for the test shall be drawn at random from the stock of finished products. The number of specimens required will depend upon the manufacturer's installation recommendations and the size of the assembly to be tested.

### 15.4 Procedure:

15.4.1 Assemble a roof test frame according to the manufacturer's recommendations that simulates the rigidity of the field installation. The construction of the frame should be a minimum of 47.7 ft<sup>2</sup> (4.5 m<sup>2</sup>).

15.4.1.1 Avoid any significant external air flow during the test period.

15.4.2 Fix the roofing materials to the test frame, observing all manufacturer's recommendations. The head lapping distance shall be the minimum allowed. All weatherproofing and other attachments normally specified shall be included in the assembly. The assembled test frame may be set in a plane down to a minimum slope of one in four, or alternatively may be set in a vertical position. A water spray station is provided to wet the top weather surface, along with a heating station to provide uniform radiant heat. The sheeted test frame should be subjected to the number of cycles specified in the applicable standard specification meeting the following requirements.

15.4.2.1 Water spray at a rate of 1 gal/min (4 L/min) for a period of 2 h, 55 min, with a water temperature not to exceed 86°F (40°C).

15.4.2.2 Pause for a period of 5 min.

15.4.2.3 Radiant heat to give a measurement plate (1) temperature across the complete test frame surface of 140 ± 9°F (60 ± 5°C) for a period of 2 h and 55 min.

15.4.2.4 Pause for a period of 5 min.

**NOTE 7**—A measurement plate is defined as an aluminum plate 2 by 2 in. (50 by 50 mm) of 0.040-in. (1-mm) thickness having a black matte finish. A suggested method for obtaining a black matte finish is to completely blacken the measurement plate with soot from a burning candle. The measurement plate shall have a thermal couple or similar device attached to the surface of the plate.

15.5 **Report**—On completion of the final test cycle, inspect the roofing products with the unaided eye and report any damage or structural alteration caused by the test.

15.6 **Precision and Bias**—No statement is made about either the precision or bias of Test Methods C 1185 for heat/rain—roof structures, since the result merely states whether there is conformance to the criteria for success specified in the procedure.

## 16. Freeze/Thaw—Roofing Products

16.1 **Significance and Use**—This test investigates the degradation of the product due to exposure to repeated freeze-thaw cycles. This test is a comparative one based on the percentage of strength reduction after a specified number of cycles.

16.2 **Test Specimens**—Twenty test specimens shall be cut from ten separate pieces of product. Product to be tested shall be conditioned for 28 days at 73 ± 4°F (23 ± 2°C) and a relative humidity of 50 ± 5%. The specimens shall be 12 in. (305 mm) long and 6 in. (152 mm) wide or one-half the width of an individual piece, if the piece is less than 12 in. wide. Cut

two specimens from each piece of product, so that at least 50 % of the top surface area will come from the area of the piece that would normally be exposed, as specified in the manufacturer's installation instructions. There shall be at least one cut edge of 12 in. that exposes the substrate on each specimen. Label each piece to identify which two pieces were cut from a specific sample.

#### 16.3 Procedure:

16.3.1 Divide the test specimens from each piece to form two sets of ten specimens each. One set is for control and one is for freeze/thaw testing. Control specimens shall be retained in a freezer at  $-10 \pm 10^{\circ}\text{F}$  ( $-23 \pm 6^{\circ}\text{C}$ ) to retard hydration.

16.3.2 Saturate one set of ten test specimens by immersing them in water at a temperature of  $60 \pm 18^{\circ}\text{F}$  ( $16 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ) for a minimum of 48 h.

16.3.3 The specimens shall be sealed individually into plastic bags surrounded on all sides by a minimum of 250 mL and a maximum of 500 mL of water; air shall be evacuated from the bag. The plastic bag shall have a thickness of between 8 mils (0.2 mm) and 12 mils (0.3 mm). The length and width of the bags shall not exceed the length and width of the specimen by more than 20 %, respectively.

16.3.3.1 Specimens shall be horizontal during freezing and thawing. It is permitted to test individual specimens or to stack specimens on top of each other, provided that spaces of at least  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm) thick are used between adjacent specimens, or individual perforated shelves are provided for each specimen to allow circulation of air and water between specimens.

16.3.3.2 When specimens are stacked, one of the specimens in the middle of the stack shall have a thermocouple embedded in a small hole  $\frac{3}{16}$  in. (1.5 mm) maximum diameter drilled in the center of the top surface to a depth of the mid-plane of the specimen, to determine when the specimens have reached the prescribed temperature.

16.3.4 Subject the specimens to the number of freeze/thaw cycles required in the applicable product specification to achieve the desired grade classification.

16.3.5 Freeze in a freezer where the specimen with the thermocouple shall reach a temperature of  $-10 \pm 10^{\circ}\text{F}$  ( $-23 \pm 6^{\circ}\text{C}$ ) within 24 h and be held for a minimum of 1 h.

16.3.6 Thaw in air or water, where the specimen with the thermocouple shall reach a temperature of  $60 \pm 18^{\circ}\text{F}$  ( $16 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ) within 24 h and be held for a minimum of 1 h before proceeding with freezing.

16.3.7 Each freeze/thaw cycle shall have a minimum cycle time of 4 h and a maximum of 48 h, but an interval of 72 h maximum can be taken between cycles.

16.3.8 The freezer unit shall be capable of being controlled to the prescribed freezing condition with a full load of test specimens.

16.3.9 During both the freezing and thawing cycles, the specimens shall be positioned to allow the free circulation of air/water around the individual bags. Care shall be taken to ensure that the proper quantity of water remains in the bag. Bags can be replaced or repaired during the test program.

16.3.10 Saturate the control specimens and the cycled specimens (removed from the bags) by immersing them in water at a temperature greater than  $60^{\circ}\text{F}$  ( $15^{\circ}\text{C}$ ) for a minimum of 48 h. On the same day, submit both sets of specimens to the saturated flexural test according to Section 5. Specimens with a uniform thickness shall have the strength recorded as MOR. Specimens with an uneven thickness shall have the strength recorded as the breaking load.

16.4 Calculation and Report—Calculate and report the ratio  $R$  of the strength averaged for the set undergoing freeze/thaw cycles ( $F_f$ ) to the strength averaged for the control of reference set ( $F_c$ ).

$$R = \frac{F_f}{F_c} \quad (16)$$

#### 16.5 Precision and Bias:

16.5.1 Precision—The precision of the procedure in Test Methods C 1185 for freeze/thaw-roofing products is being determined.

16.5.2 Bias—Since there is no accepted reference material suitable for determining the bias for the procedures in Test Methods C 1185 for freeze/thaw-roofing products, no statement on bias is being made.

## 17. Keywords

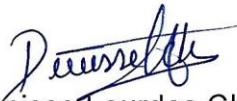
17.1 accelerated aging; acceptable quality limit (AQL); cellulose fiber; clapboards; cracking; delamination; density; dimensional measurements; edge straightness measurement; equilibrium conditioning; flat sheet; flexural; freeze/thaw; granulated surface; heat/rain; inspection by attributes; inspection by variables; length measurement; linear change; long-term chemical interaction; modulus of rupture; moisture content; moisture movement; non-asbestos fiber cement; polyethylene fiber; polyvinyl alcohol fiber; radiant heat; roofing; sample conditioning; sample testing; sampling; sampling by attributes; sampling by variables; sampling schemes; saturated conditioning; serviceability; shakes; shingles; siding; slates; smooth surface; squareness measurement; strength; textured surface; thickness measurement; warm water; water absorption; water displacement method; water tightness; weather degradation; weathering exposure; weatherproofing; wet conditioning; width measurement

 C 1185 – 03

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2929, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9885 (phone), 610-832-9885 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



Bach. Denisse Lourdes Chana Chana  
Tesisista



MSc. Hugo Torres Muro  
Asesor