

**PROPUESTA DE REVESTIMIENTO PARA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS
METÁLICAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO**

**WILMER FERNANDO DUARTE VALENZUELA
DANITZA MIRLENE CHAPARRO TOVAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**PROPUESTA DE REVESTIMIENTO PARA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS
METALICÁS EN SITUACIÓN DE INCENDIO**

**WILMER FERNANDO DUARTE VALENZUELA
DANITZA MIRLENE CHAPARRO TOVAR**

**Trabajo de grado presentado para optar por el título de
Ingeniero civil**

Director

RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ

Ingeniero Civil, Ph.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

“A mis padres, Delfo y Nubia, como un gesto de cariño y agradecimiento porque con su amor y respeto han forjado en mí un profesional con bases sólidas e indestructibles incluso ante la presencia del mayor de los sismos.

Porque sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de sus vidas para formarme y porque nunca podré pagar todos sus desvelos, ni aún con las riquezas más grandes del mundo”.

Wilmer

A mi madre Mirlen Tovar y a mi padre Miller Chaparro, porque infundieron en mí la perseverancia, la constancia y el valor para salir adelante.

A ellos les debo todo

Danitza

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Ph. D Ricardo Cruz por su paciencia, apoyo y confianza en mí como persona y en mi trabajo. Gracias por sus consejos personales y académicos. Gracias por escucharme.

Mi más sincero agradecimiento a mis tíos, Decio Duarte Duarte y Edwar Duarte Duarte por sus aportes y participación activa en el desarrollo de esta tesis.

Quiero expresar también un enorme agradecimiento a mi hermana Yessica yurley Duarte Valenzuela por haberme apoyado todo este tiempo. Gracias por sus consejos y ánimos constantes.

Wilmer

Gracias, primero a Dios por darme la vida y su presencia en todo momento. A mi mamá por todo su amor y fortaleza, a mi Papá por toda la ayuda que me ha brindado y todas sus palabras de consejo, a mis hermanos por motivarme a seguir adelante todos los días, a mi tío Edgar Fuentes por su apoyo incondicional.

A mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación y con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y su motivación han logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito pero en especial a mi director de tesis, Ph. D Ricardo Cruz por la orientación, la motivación y el apoyo recibido de el en todo este tiempo.

A todos muchas gracias...

Danita

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
MARCO TEORICO	20
1.1. TEORÍA DEL FUEGO	20
1.1.1. <i>Tipos de fuego.....</i>	<i>20</i>
1.1.2. <i>Propagación del incendio</i>	<i>21</i>
1.1.4. <i>Etapas de los incendios.....</i>	<i>22</i>
1.1.5. <i>Comportamiento de los materiales ante el fuego.....</i>	<i>23</i>
1.1.7. <i>Aislamiento del fuego</i>	<i>25</i>
1.2. REVESTIMIENTOS	25
1.2.1. <i>Revestimientos Térmicos.....</i>	<i>26</i>
1.3. LAS FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO DE REVESTIMIENTOS	28
1.3.1. <i>Clasificación de las fibras naturales.....</i>	<i>29</i>
1.3.2. <i>Composición de las fibras naturales</i>	<i>30</i>
1.3.3. <i>Degradación de las fibras naturales.....</i>	<i>32</i>
1.3.4. <i>Tratamiento de las fibras</i>	<i>35</i>
1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR	35
1.4.1. <i>Breve historia de la caña de azúcar</i>	<i>35</i>
1.4.2. <i>Morfología de la caña de azúcar</i>	<i>36</i>
1.4.3. <i>El bagazo de caña de azúcar.....</i>	<i>37</i>
1.4.4. <i>Propiedades físicas y químicas del bagazo.....</i>	<i>37</i>
1.5. CARACTERÍSTICAS DEL ESTROPAJO (LUFFA CYLINDRICA)	38
1.5.1. <i>Origen del estropajo</i>	<i>38</i>
1.5.2. <i>Definición de Estropajo</i>	<i>38</i>

1.5.3.	<i>Morfología del Estropajo</i>	39
1.5.4.	<i>Anatomía del Estropajo</i>	40
1.5.5.	<i>Características de la fibra de Estropajo</i>	40
1.6.	EL CONCRETO LIVIANO	41
1.7.	ANÁLISIS TEÓRICO DE LA RESPUESTA DEL MATERIAL AL FUEGO	42
MARCO EXPERIMENTAL		44
2.1.	DISEÑO DEL REVESTIMIENTO	45
2.1.1.	<i>Diseño de la mezcla</i>	45
2.1.2.	<i>Caracterización de los materiales</i>	46
2.1.3.	<i>Elaboración de los paneles</i>	49
2.1.4.	<i>Fraguado y curado</i>	52
2.2.	PRUEBAS ANTES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO	53
2.3.	ADECUACIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO EN EL ENSAYO	54
2.4.	ENSAYO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO AL FUEGO	56
2.5.	ENFRIAMIENTO	57
2.6.	PRUEBAS DESPUÉS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO	57
ANÁLISIS DE RESULTADOS		59
3.1.	COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES ANTE EL FUEGO	59
3.2.	ESPESOR ÓPTIMO	63
3.3.	COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA TEÓRICA Y LA EXPERIMENTAL	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		64
BIBLIOGRAFIA		66
ANEXOS		70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Propagación por convección y radiación	22
Figura 2. Clasificación de las fibras naturales de acuerdo a su origen	29
Figura 3. Estructura de la celulosa	30
Figura 4. Modelo estructural de la Lignina	31
Figura 5. Partes del estropajo (LUFFA CYLINDRICA).....	39
Figura 6. Detalle de las fibras del fruto del estropajo	40
Figura 7. Metodología empleada para el desarrollo de la investigación	44
Figura 8. Procedimiento empleado para la elaboración de las probetas	45
Figura 9. Tratamiento de la fibra de Bagazo De Caña De Azúcar	47
Figura 10. Tratamiento de la fibra de Estropajo (Luffa Cylindrica).....	47
Figura 11. Procedimiento para la elaboración de los paneles	49
Figura 12. Formaleta empleada para la elaboración de los paneles.	50
Figura 13. Proceso constructivo de los paneles.	52
Figura 14. Horno empleado para los ensayos de resistencia al fuego.....	55
Figura 15. Distribución de termocuplas	55
Figura 16. Fuente de calentamiento (Boquilla o “soplete”).....	56
Figura 17. Paneles antes y después del ensayo de resistencia al fuego	58
Figura 18. Registro de temperaturas, PANEL 1.....	59
Figura 19. Registro de temperaturas, PANEL 2.....	60
Figura 20. Registros de temperatura, PANEL 3.....	61
Figura 21. Registros de temperatura, PANEL 4.....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Partes que conforman el nudo y entrenado	37
Tabla 2. Características de la fibra del fruto del estropajo	40
Tabla 3. Datos empleados en la ecuación j.3.5-3.....	43
Tabla 4. Datos empleados en la ecuación J.3.5-2.....	43
Tabla 5. Dosificación de la mezcla	45
Tabla 6. Peso de los paneles antes del ensayo de resistencia al fuego.....	53
Tabla 7. Peso de los paneles antes y después del ensayo.....	57

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Título J — Requisitos de protección contra incendios en edificaciones (NSR- 10).....	71
ANEXO B. Ensayo de resistencia al fuego (NTC 1480).....	74
ANEXO C. Cálculo del peso específico del revestimiento	79

RESUMEN

TITULO: PROPUESTA DE REVESTIMIENTO PARA PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS EN SITUACIÓN DE INCENDIO *

AUTORES: WILMER FERNANDO DUARTE VALENZUELA **
DANITZA MIRLENE CHAPARRO TOVAR **

PALABRAS CLAVE:

PROTECCIÓN, REVESTIMIENTO INCENDIO, ESTRUCTURAS METÁLICAS, FIBRA VEGETAL

DESCRIPCIÓN:

En éste trabajo se presentan resultados del estudio de una propuesta de revestimiento base fibra vegetal (bagazo de caña de azúcar y estropajo), como barrera térmica, teniendo en cuenta la contribución ecológica en la protección de estructuras metálicas en situación de incendio.

Se realizaron paneles de concreto ligero de uno y dos centímetros de espesor, reforzados con bagazo de caña de azúcar y estropajo, respectivamente, los cuales se sometieron al fuego para determinar criterios de resistencia al fuego, siguiendo la curva normalizada de un incendio según la norma NTC 1480 y la ISO 834.

Según los resultados obtenidos, el panel que se reforzó con fibra de estropajo en forma de barrera y piedra pómez, presenta mayor aislamiento ya que la temperatura máxima alcanzada por este panel fue 11°C menor que la alcanzada por el panel que se reforzó con fibra de estropajo picado y piedra pómez; 33°C menor que la alcanzada por el panel que se reforzó con estropajo picado pero excluyendo la piedra pómez de la mezcla y 58°C menor que la alcanzada por el panel que se reforzó con fibra de bagazo de caña de azúcar.

El material también se analizó de forma teórica según el título J de la NSR-10 (Norma Sismo Resistente de 2010). Como resultado se obtuvo que los paneles tienen un buen comportamiento al fuego ya que presentan una resistencia de aproximadamente veinte (20) minutos. Esto para un panel de 1 centímetro de espesor, el cual se propuso como espesor óptimo.

* Trabajo de investigación

**Facultad de Ciencias Físico mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ricardo A. Cruz Hernández

ABSTRACT

TITLE: PROPOSAL ABOUT COVER AND PROTECT METAL STRUCTURES IN FIRE SITUATION

AUTHORS: WILMER FERNANDO DUARTE VALENZUELA **
DANITZA MIRLENE CHAPARRO TOVAR **

KEYWORDS:

PROTECTIVE COATING FIRE, STEEL STRUCTURES, VEGETABLE FIBER PROTECTION COATING FIRE, METALWARE, VEGETABLE FIBER

DESCRIPTION:

In this paper we present results of the study of a proposed plant fiber based coating (sugar cane bagasse and sponge) as a thermal barrier, taking into account the ecological contribution to the protection of steel structures in fire situation.

Panels were made from lightweight concrete of one and two centimeters thick, reinforced with sugarcane bagasse and scourer, respectively, which were subjected to the fire to determine fire resistance standards, following standard curve according to the standard fire NTC 1480 and ISO 834.

According to the obtained results, the panel that was reinforced by fiber of swab in the shape of barrier and pumice, presents major isolation since the maximum temperature reached by this panel was 11°C minor that the reached one for the panel that was reinforced by fiber of bad swab and pumice; 33°C minor that the reached one for the panel that was reinforced by bad swab but excluding the pumice of the mixture and 58°C minor that the reached one for the panel that was reinforced by fiber of bagasse of sugar cane.

The material also was analyzed theoretically according to the title J of the NSR -10 (standard earthquake resistant, 2010). Since result obtained that the panels have a good behavior to the fire since they present a resistance of approximately twenty (20) minutes. This for a panel of 1 centimeter of thickness, which proposed as ideal thickness.

* Trabajo de investigación

**Facultad de Ciencias Físico mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ricardo A. Cruz Hernández

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las estructuras metálicas juegan un papel muy importante en el sector de la construcción, pero este sistema constructivo tan difundido en algunos países, recién empieza a tomar fuerza en Colombia en parte gracias a que hoy en día se cuenta con disponibilidad permanente de la mayoría de los elementos necesarios para su desarrollo.

Si se compara la construcción tradicional de hormigón armado con la construcción con elementos metálicos, esta última se prefiere por sus ventajas en velocidad de construcción, cubrimiento de grandes luces, uniformidad de los materiales, flexibilidad de la estructura, y debido a que gran parte de los elementos se fabrican en talleres, se disminuye considerablemente el tiempo de instalación y el impacto del clima sobre el avance de la obra.

Pero no se debe olvidar la acción del fuego sobre las construcciones, ya que en cuestión de incendios no se tiene una segunda oportunidad, por eso es muy importante garantizar la resistencia al fuego de la estructura de un edificio en situación de incendio con el fin de impedir el esparcimiento de este, así como también evitar el colapso estructural.

Es importante tener en cuenta que los perfiles metálicos presentan un inadecuado comportamiento frente al fuego, ya que es un material en el cual sus propiedades (gran conductividad térmica, su calor específico y su coeficiente de dilatación) varían de forma notable con la temperatura, lo cual hace que la capacidad resistente del acero inicie su caída a partir de los 100-200°C, de tal manera que alrededor de los 700°C quede poco más del 23% de la resistencia a temperatura ambiente

En estos tiempos es muy conocida la necesidad de proteger frente al fuego las estructuras metálicas, de forma que quede recubierta por elementos que retarden la acción directa del fuego sobre ella y desde el punto de vista funcional, la estructura pueda resistir un tiempo más al incendio para conseguir la evacuación de sus ocupantes y para que actúen los sistemas contra incendios.

Ante dicha necesidad surgen los materiales compuestos como aislantes o barreras térmicas ya que presentan buenas propiedades específicas.

En base a ello, en esta investigación se propone un revestimiento conformado por concreto y fibras vegetales, con el fin de analizar las características que presenta ante el fuego y de alguna forma contribuir con el desarrollo, en cuanto a estructuras metálicas en nuestro país.

PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Si bien es cierto que la principal amenaza para los ocupantes de un edificio en el que se ha declarado un incendio viene representada por el humo y los gases desprendidos, también es cierto que el colapso de los elementos estructurales y el consiguiente derrumbe del edificio representan un peligro gravísimo para el personal de extinción.

Con esta breve investigación se busca que con el tiempo en Colombia se empiece a implementar en los proyectos constructivos estrategias de protección contra incendio para complementar de manera efectiva la protección pasiva, y así garantizar la vida de quienes habitan un edificio, al igual que minimizar las pérdidas en la infraestructura.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un revestimiento base material de baja densidad, baja conductividad térmica, y bajo calor específico, como protección de estructura metálica

Objetivos específicos

- Realizar un análisis teórico de la respuesta del material al fuego.
- Diseñar el revestimiento base fibra vegetal.
- Evaluar la resistencia del revestimiento al fuego.
- Determinar el espesor del revestimiento, al cual alcanzara un tiempo determinado de estabilidad al fuego.

METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto tiene cuatro componentes: investigación, implementación, pruebas y documentación, las cuales se trabajaran de la siguiente manera:

- Recolección de la información bibliográfica
- Análisis de la información recolectada
- Planteamiento del revestimiento
- Obtención del material a utilizar
- Realizar pruebas en el laboratorio
- Análisis de resultados experimentales (obtenidos en el laboratorio)
- Validación del material propuesto
- Proponer estrategias de protección para el acero con el revestimiento propuesto
- Elaboración del Documento final.

ALCANCE DEL PROYECTO

Diseño y creación de un revestimiento para proteger las estructuras metálicas en situación de incendio, el cual debe tener una resistencia mayor a 15 minutos de conformidad con lo planteado en el título J.3.5.4 de la NSR-10, con el fin de beneficiar a los ocupantes de edificaciones que se encuentren en esta situación.

Los resultados de este trabajo de grado pueden ser de utilidad para posteriores estudios que conlleven al diseño de nuevas estructuras, esquemas y mecanismos para la protección de estructuras metálicas que se encuentren expuestas de una u otra forma a un incendio.

MARCO TEÓRICO

1.1. TEORÍA DEL FUEGO

El fuego es la combustión caracterizada por una emisión de calor acompañado de humo, de llama o de ambos ¹, esta reacción se produce a temperatura elevada y evolución de suficiente calor como para mantener la mínima temperatura necesaria para que la combustión continúe.

Así pues, llama y humo, son dos conceptos que se diferencian físicamente por la distinta temperatura a la que se encuentran, pero que no difieren desde el punto de vista químico ya que el humo no es más que la "llama enfriada" al encontrarse más alejada de la fuente de calor, y al enfriarse deja de emitir luz.

1.1.1. Tipos de fuego

Los fuegos se clasifican en cuatro clases según la Norma UNE 23-010-76:

- Fuegos clase A: Son los producidos o generados por combustibles sólidos como madera, carbón o paja.
- Fuegos clase B: Son los originados por combustibles líquidos como gasolinas y aceites.
- Fuegos clase C: Producidos cuando combustionan sustancias gaseosas como el Butano o el gas ciudad.
- Fuegos clase D: Son los producidos o generados por metales combustibles tales como el potasio, magnesio, polvo de aluminio, zirconio.

1.1.2. Propagación del incendio

El incendio es la rápida combustión que se extiende incontrolable en tiempo y espacio, lo cual quiere decir que por ser no controlado va quemando toda la estructura y los seres vivos que encuentra por su paso². La propagación del incendio ocurre en las siguientes cinco etapas: ³

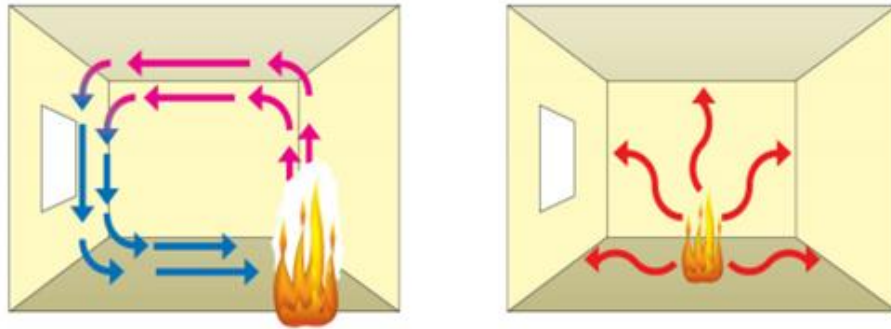
- *Etapa de inflamación:* Período en el que se inicia el fuego.
- *Etapa de crecimiento:* En este momento existe suficiente cantidad de oxígeno y de combustible como para poder mantener la combustión y, como consecuencia, el desarrollo del incendio.
- *Etapa de generalización:* En esta etapa, todos los elementos combustibles del recinto, se encuentran ardiendo a una temperatura de 500 °C a 600 °C
- *Etapa de incendio pleno:* Durante esta fase, el fuego se encuentra en toda su plenitud.
- *Decaimiento:* Tiene lugar conforme va desapareciendo la cantidad de combustible disponible y la velocidad de emisión de calor disminuye.

1.1.3. Formas de propagación del fuego ⁴

El fuego en una edificación se propaga por convección y radiación. El caso de convección ocurre cuando los gases y aire se calientan y se desplazan debido a que el aire se dilata y se vuelve más ligero, los fluidos más calientes son más ligeros que los fríos por lo que tienden a subir mientras que los fríos bajan formando corrientes de convección, entre más se calienten más ascienden y van calentando

todo, así pues, cuando el calor se desplaza ascendiendo por un hueco de escalera, está haciéndolo por convección. (Ver figura1)

Figura 1. Propagación por convección y radiación



FUENTE: Trabajo técnico: Estructuras de acero en situación de incendio

Por otro lado si el desplazamiento es por ondas de calor, partiendo de un cuerpo a alta temperatura a la superficie de otro a temperatura inferior, esto es por radiación ya que la energía térmica se propaga sin que exista contacto entre los dos cuerpos y se produce en el espacio vacío, de esta forma es como el Sol calienta la tierra.

1.1.4. Etapas de los incendios

No todos los incendios se desarrollan del mismo modo, aunque todos pueden pasar por cuatro etapas:

- Etapa de fuego incipiente: No hay manifestación visible de humo, calor o llamas, las partículas no son percibidas por el ojo humano.
- Etapa de fuego latente: Aumenta la cantidad de partículas de la combustión y se hacen visibles (humo), no existe llama.

- Etapa de llama: al evolucionar el fuego, sobreviene el punto de ignición, la llama emite energía y se desarrolla más calor.
- Etapa del calor: Gran cantidad de calor, llamas, humo y gases tóxicos, su evolución depende del tipo de material.

1.1.5. Comportamiento de los materiales ante el fuego

Cuando algún material se expone al fuego puede tener algunos cambios físicos y/o químicos, por lo cual, para identificar el comportamiento de dicho material ante el fuego, es necesario evaluarlo desde dos puntos de vista: la resistencia y la reacción, conceptos que son muy semejantes pero que en realidad se diferencian muy bien el uno del otro.⁵

- ***La resistencia al fuego***

Esta se aplica a materiales que mantienen características estructurales como la capacidad portante, el aislamiento de temperatura, y la no emisión de gases inflamables, cuando son sometidos a ensayos de resistencia al fuego, el cual consiste en una curva de Tiempo-Temperatura normalizada frente a la cual se comparan para verificar su resistencia.

- ***La reacción al fuego***

Esta se refiere al comportamiento de un material que al descomponerse va alimentando el fuego al que está expuesto, por lo cual, para cuantificar la reacción de un material al fuego, se deben verificar parámetros tales como la facilidad de encendido, la velocidad de propagación superficial, la cantidad de calor desprendido y la emisión de gases y humos.`

1.1.6. Comportamiento de las estructuras metálicas ante el fuego

La estructura es el conjunto de elementos que resisten una construcción y se encargan de soportar todas las cargas de la edificación y de transmitir las a la cimentación. Por lo cual es de gran importancia que esta sea construida con un material que presente excelentes características.

Así pues, el material más utilizado a lo largo de la historia ha sido el concreto, pero en la actualidad también se utilizan materiales metálicos, de los cuales los aceros, aleaciones de aluminio y el hierro fundido son los más utilizados. De estos, el acero posee una alta capacidad de resistencia estructural y una calidad uniforme, debido a los controles de calidad vigentes.

No obstante, el acero es vulnerable al fuego ya que en presencia de este pierde rápidamente la forma y consistencia, es decir que además de perder resistencia o capacidad, también se deforma y los espacios utilizables que forman las estructuras, provocan colapso, sin dar tiempo a veces a la actuación de los sistemas de extinción que puedan intervenir.

Una de las características del acero estructural sometido a temperaturas de incendio, aproximadamente unos 500 °C, consiste en que no solamente se anula gradualmente su resistencia estática, sino también debido a las tensiones internas, experimenta violentas torsiones y flexiones que originan daños a otros elementos próximos por tracción y cortante.⁶

La acción de temperaturas sobre los perfiles, debilitará antes los perfiles laminados menores, que otros de mayor volumen por una misma temperatura.

1.1.7. Aislamiento del fuego ⁷

El aislamiento del fuego es aptitud de un elemento de construcción aislante, que se expone al fuego en una de sus caras. Utilizado para prevenir el paso de llama, gases calientes o la aparición de llama en el extremo no expuesto al fuego.

Antiguamente se usaba el concreto como material de revestimiento del acero con el fin de protegerlo y ayudar a preservar por mayor tiempo su resistencia pero este revestimiento tenía un espesor muy grande.

Los materiales que sirven como aislantes térmicos deben tener características especiales como baja conductividad térmica, la cual es una propiedad de los materiales que valora la capacidad de transmitir el calor a través de ellos.

Es elevada en metales y en general en cuerpos continuos, es baja en polímeros, y muy baja en algunos materiales especiales como la fibra de vidrio, que se denominan por ello aislantes térmicos. Para que exista conducción térmica hace falta una sustancia, de ahí que es nula en el vacío ideal, y muy baja en ambientes donde se ha practicado un vacío bajo.

1.2. REVESTIMIENTOS

El objetivo fundamental de los revestimientos es la modificación de las superficies de los sustratos, ya que como es sabido, muchas de las utilidades de los materiales dependen de las características y propiedades de su superficie, tales como: el desgaste, la fricción y su resistencia a la oxidación/corrosión.

El uso de revestimientos permite mejorar las propiedades del material al darle propiedades adicionales al sistema formado por la capa–sustrato. Cada uno de los componentes de este nuevo sistema aporta unas propiedades al conjunto. Es decir,

el material base o sustrato, puede actuar como un simple soporte mecánico o aportar unas características específicas (resistencia mecánica, propiedades térmicas, polarización magnética); mientras que el revestimiento ofrece propiedades diferentes y por lo general superiores al sustrato sobre el cual se encuentra depositado ⁸.

1.2.1. Revestimientos Térmicos

Los tipos de revestimientos usados para la protección a altas temperaturas se pueden clasificar en tres categorías principales que son: Barreras térmicas (TBC) difusión, y overlay o sobrecapa. En esta investigación se propuso una barrera térmica (TBC).

- **Barreras térmicas (TBC)**

Las barreras térmicas (TBC) comenzaron a ser usadas experimentalmente en el campo de la ingeniería a partir de la década de los sesenta. Este tipo de sistema de recubrimientos, permite disminuir las temperaturas del material del sustrato, reducir los requerimientos de los sistemas de enfriamiento, aumentar la resistencia a la corrosión y a la oxidación a altas temperaturas de algunos componentes metálicos.

Ante la presencia de un incendio, las propiedades mecánicas de los elementos con que son construidas las estructuras metálicas, pueden ser mejoradas mediante la aplicación de este tipo de capas, ya que como se había mencionado anteriormente, permiten disminuir la temperatura de los componentes metálicos y de esta forma prolongar su tiempo de vida en servicio.

Las TBC se caracterizan por ser delgadas, por tener una baja conductividad térmica, una elevada resistencia al choque térmico y una alta concentración de poros

internos que reducen la conductividad térmica a valores por debajo de los del material que constituye el cuerpo de la TBC. ⁹

- **Revestimientos de difusión**

En general consisten en el recubrimiento de las superficies de piezas metálicas con una capa de una aleación con propiedades especiales, realizado por difusión de otro elemento dentro de la masa superficial. Para ello se calientan las piezas a recubrir junto con el material de recubrimiento a alta temperatura durante cierto tiempo, tiempo en el cual, el material de recubrimiento difunde dentro del metal base hasta cierta profundidad. El resultado es una capa aleada de propiedades especiales de mayor o menor espesor en dependencia de la temperatura y el tiempo de permanencia.

Los recubrimientos más importantes para aplicaciones a altas temperaturas son: el aluminio, el cromo y el silicio que son depositados sobre diferentes sustratos tales como las súper-aleaciones de base níquel y de cobalto, los aceros al carbono, aceros aleados y aceros inoxidable.

- **Recubrimientos sobre-capas (“overlay coating”)**

Estas capas, generalmente, se les conoce como recubrimientos MCrAl o MCrAlY, en donde “M” puede corresponder a hierro, níquel, cobalto o una combinación de níquel y cobalto. Estos tipos de recubrimientos tuvieron su origen directamente de los procesos de deposición con vapor y se diferencian de los recubrimientos por difusión en que no es necesaria una interdifusión entre el material del recubrimiento y el sustrato. Con una pre-aleación del material aplicado sobre el sustrato se pueden lograr diferentes composiciones de recubrimientos y también de microestructuras. La adhesión del recubrimiento al sustrato se realiza por una interdifusión elemental.

10-11

Estos recubrimientos poseen una buena adherencia al material y su principal ventaja radica en el hecho de que es posible depositar capas con gran variedad de composiciones. De hecho los recubrimientos MCrAlY han surgido gracias a las nuevas técnicas de aplicación de recubrimientos así como a la gran cantidad de composiciones existentes en el mercado. ¹²

Los equipos requeridos para depositar recubrimientos tipo “overlay” son aplicados, principalmente, por dos métodos: spray Plasma (plasma spray PS) y deposición en fase vapor por haz de electrones (“electron beam physical vapour deposition. EB-PVD”).

1.3. LAS FIBRAS NATURALES COMO REFUERZO DE REVESTIMIENTOS

Las fibras naturales son materiales lignocelulósicos que se encuentran ampliamente distribuidos por la biosfera en forma de árboles, plantas y cultivos. En general, se puede decir que los materiales lignocelulósicos son los biomateriales renovables más abundantes en la tierra.

Durante las últimas décadas, el uso de las fibras naturales está ganando importancia en aplicaciones industriales, tecnología de tejidos textiles, pasta celulósica y papel, ingeniería civil y actividades de construcción ¹³. Esto gracias a su disponibilidad, bajos costos de adquisición y facilidad de procesamiento además de ser muy amigables con el medio ambiente.

Las propiedades mecánicas de las fibras naturales se comenzaron a aprovechar alrededor del año 6000 a.c. en el refuerzo de cerámicas y momias ¹⁴. Más tarde, los lienzos para pinturas y los textiles de numerosas calidades fueron los protagonistas en el uso de fibras naturales, que eran impregnadas en resinas y mieles con sal para prolongar su vida útil.

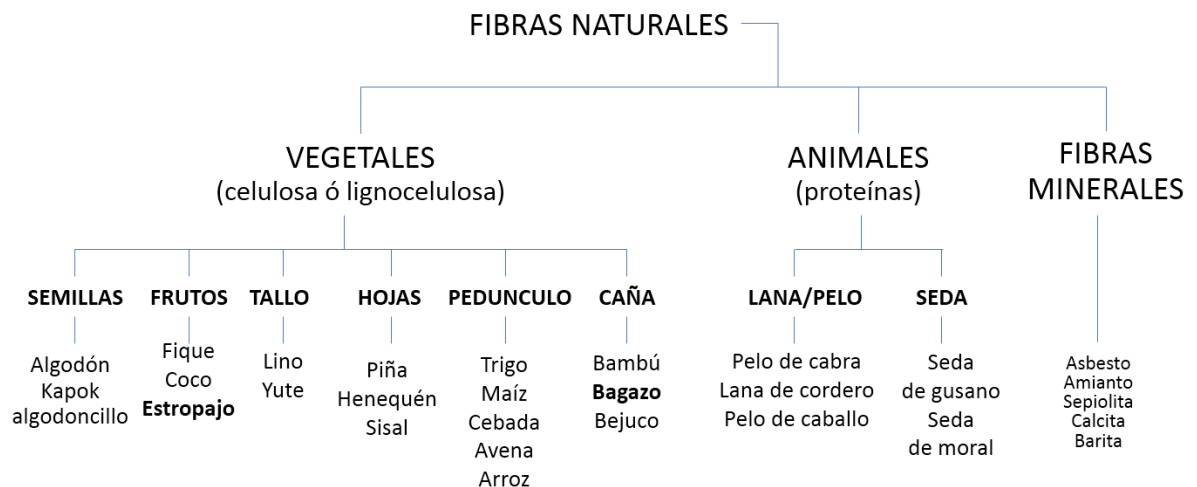
La capacidad de refuerzo de una fibra depende del grado en que los esfuerzos pueden serle transferidos desde la matriz, estado que a su vez está regido por las características específicas de la fibra.

En este capítulo se hace alusión a las propiedades de las fibras naturales, como el material predominante en la fabricación de un revestimiento que se pretende usar como aislante térmico.

1.3.1. Clasificación de las fibras naturales

Las fibras naturales, se clasifican en tres grupos: vegetal, animal y mineral. (Ver figura 2)

Figura 2 Clasificación de las fibras naturales de acuerdo a su origen



FUENTE: [Mohanty, 2005]

Este trabajo se centra en las fibras naturales de origen vegetal, que son las que ofrecen mejores características tanto a nivel técnico como medioambiental¹⁵. Las fibras principales a estudiar serán el bagazo de caña de azúcar y el Estropajo.

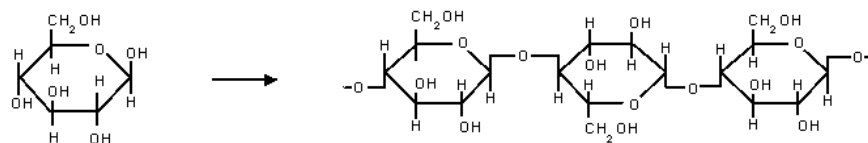
1.3.2. Composición de las fibras naturales

Las fibras naturales vegetales están compuestas mayoritariamente por tres polímeros estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) y en menor medida por una serie de compuestos de bajo peso molecular solubles en agua, proteínas y sales minerales. El contenido de cada uno de ellos dependerá de la variedad y la edad de la planta o especie de la que provengan.¹⁶

- **Celulosa.**

La celulosa (α -celulosa) es el componente mayoritario de las fibras naturales vegetales. Desde el punto de vista estructural, la celulosa es un polímero lineal formado por unidades de β -D-glucopiranosas unido mediante un enlace β -(1,4)-glicosídico lo que lo hace insoluble al agua, además dando lugar a unidades de celobiosa que se repite a lo largo de la cadena polimérica. Cada monómero posee tres grupos hidroxílicos que pueden formar enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares. Estos enlaces juegan un papel importante en la cristalinidad y en las propiedades físicas de la celulosa. Los enlaces de hidrógeno intermoleculares permiten una estructura de alta cristalinidad.¹⁷ (ver figura 3)

Figura 3. Estructura de la celulosa



FUENTE: [Wikipedia]

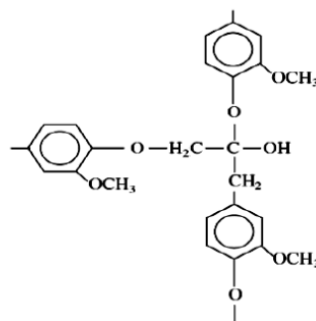
- **Hemicelulosa**

Esta molécula, que es un polisacárido, forma parte de las paredes de las diferentes células de los tejidos vegetales. Este compuesto varía dependiendo de la edad y variabilidad de las especies cultivadas y mejoradas. La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, como es el ácido urónico, capaz de unirse a otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege la célula de la presión ejercida sobre esta por el resto de las células que la rodean.¹⁸

- **Lignina**

La lignina aporta rigidez a las plantas. Se trata de un compuesto complejo, un copolímero tridimensional formado por constituyentes alifáticos y aromáticos con alto peso molecular y generalmente resistente a la degradación microbiológica. Aunque su estructura química no ha sido definida con exactitud, se han propuesto numerosos modelos que representan una “aproximación” a dicha estructura, uno de estos se puede ver en la figura 4.

Figura 4. Modelo estructural de la Lignina



FUENTE: [Corrales, 2002]

1.3.3. Degradación de las fibras naturales

Cuando se están elaborando composites, además de la selección de una matriz adecuada, es de vital importancia conocer el comportamiento de las fibras ante un proceso de degradación durante un periodo de tiempo determinado.

A continuación, se profundiza sobre los diferentes tipos de degradación a los que pueden verse sometidas las fibras naturales.

Cuando una fibra natural se degrada, además de producirse una alteración en sus propiedades organolépticas, se producen también cambios en sus propiedades físico-químicas

- ***Degradación Térmica***

Para asegurar las condiciones óptimas del procesado de los composites reforzados; y estimar cómo influye en las propiedades del composite resultante durante su ciclo de vida, es de vital importancia controlar y predecir la degradación térmica de las fibras naturales.¹⁹

La celulosa, siendo el mayor componente de las fibras naturales se descompone entre 325°C y los 400°C y se caracteriza por una baja masa residual final.²⁰

De su degradación térmica se obtienen tres fracciones de productos diferentes: una fase gaseosa combustible, una fase líquida o condensable y una fase sólida carbonosa.²¹⁻²²

La fase gaseosa se compone en su mayoría de: CO, CO₂, H₂, CH₄ y otros hidrocarburos ligeros. La fracción condensable se constituye por dos fases: una fase orgánica y una fase acuosa.

La producción de la masa residual se ve favorecida por una temperatura entre los 400°C y los 500°C, una presión moderada de 1MPa y un elevado tiempo de residencia para fomentar el contacto entre la fase vaporosa y la sólida que da lugar a la aparición de reacciones secundarias de formación de residuo. ²³

La proporción de la producción de esta fracción depende de la composición inicial de las fibras naturales; la lignina y la materia extractiva potencian su producción ²⁴ mientras que la materia inorgánica altera el mecanismo de descomposición térmica de los materiales lignocelulósicos y aumenta la producción de fracción sólida. ²⁵

La hemicelulosa descompone a temperaturas menores de los 225°C a los 325°C, debido a su fácil proceso de hidrólisis.

La lignina es el componente con mayor contribución para la formación del residuo, y presenta la descomposición térmica más amplia, entre 200°C y los 600°C. Además, la fracción de la materia inorgánica soluble en agua tiene un papel importante en la descomposición térmica debido a su efecto catalítico. ²⁶

- **Biodegradación**

Las fibras naturales lignocelulósicas son degradadas biológicamente por los organismos que reconocen la cadena carbohidratada del polímero, principalmente la de la hemicelulosa de la pared celular, y son capaces de hidrolizar estos polímeros en unidades digestibles.

La cristalinidad de la celulosa es responsable de la dureza del material lignocelulósico, por tanto, su biodegradación debilita las paredes celulares de las fibras. La celulosa se biodegrada por la acción de las enzimas celulasas, presentes en gran cantidad de hongos y bacterias.

La biodegradación se produce tanto en ambientes aeróbicos como anaeróbicos. El proceso de biodegradación es relativamente lento, debido a las características estructurales de la celulosa (insolubilidad en agua y gran alcalinidad).

- ***Fotodegradación***

La radiación UV ataca en primer lugar a la lignina, la cual es responsable de que la coloración de la muestra cambie.

En comparación con la lignina, la celulosa es menos susceptible a la fotodegradación UV. Por tanto, a medida que la lignina se degrada, la superficie de las fibras naturales aumenta su contenido en celulosa.

Después de ser degradada la lignina, las fibras, ricas en hidratos de carbono emergen fácilmente a la superficie, con lo que se expone nueva lignina a degradación.

- ***Absorción de humedad***

Las biofibras cambian sus dimensiones con la variación de su contenido de humedad en su composición. Las paredes celulares de los polímeros contienen grupos hidroxilo y otros compuestos oxigenados que se enlazan con el agua mediante puentes de hidrógeno.

El componente de hemicelulosa es el mayor responsable de la absorción de humedad, pero la accesibilidad y la proporción amorfa/cristalina de la celulosa y la cantidad de lignina también influyen sobre este parámetro.

1.3.4. Tratamiento de las fibras

Ya que se va a utilizar una fibra vegetal, y sabiendo que esta puede degradarse por muchos motivos, mencionados anteriormente, es necesario realizarle un tratamiento con el fin de evitar alteraciones en sus propiedades organolépticas y cambios en sus propiedades físico-químicas.

Por este motivo se propone utilizar el SILICATO DE SODIO, ya que a la hora de ser utilizado en fibras ayuda a evitar la degradación de estas y a resistir altas temperaturas, debido a que la completa deshidratación del silicato de sodio ocurre en el rango de los 1000 a 1100 °C

1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CAÑA DE AZÚCAR

1.4.1. Breve historia de la caña de azúcar ²⁷

Según algunas teorías, el origen de la caña de azúcar es en la región que comprende parte de la India, China, Nueva Guinea y zonas aledañas, debido a que en estos lugares es donde se encuentra el mayor número de especies.

La caña de azúcar (*Saccharum Officinarium*) es uno de los cultivos más viejos en el mundo, se cree que empezó hace unos 3.000 años como un tipo de césped y era empleada para ser mascada y para ingerir su jugo, pero fue en la India donde se inició su explotación comercial debido a que fue el primer lugar donde se hizo azúcar.

En 1493 Cristóbal Colón llegó por segunda vez a América y trajo consigo la caña, pero fue sólo en 1501 cuando se introdujeron las primeras plantas que lograron crecer en estos suelos. En 1510 se inició en Colombia el cultivo de la gramínea en tierras de Santa María La Antigua del Darién. En 1533, Pedro de Heredia, fundador

de Cartagena, introdujo la caña en la Costa Atlántica y posteriormente Sebastián de Belalcazar, fundador de Santiago de Cali, la plantó en el Valle del Cauca, en su estancia en Yumbo en 1541.

1.4.2. Morfología de la caña de azúcar

La caña de azúcar crece en climas tropicales y subtropicales y al igual que las otras plantas, está constituida por raíces, tallos, hojas y flores, pero desde el punto de vista económico, el más importante es el tallo, ya que en él se almacenan los carbohidratos y con procesos industriales se obtienen la sacarosa y otros derivados como la melaza, bagazo y cachaza.

Tallo de la caña de azúcar

Cuando germinan las yemas se produce un primer eje o tallo primario, de este germinan yemas que producen nuevos brotes denominados tallos secundarios y así sucesivamente hasta formar una aglomeración, este proceso que se denomina macollamiento.

Seguidamente los tallos empiezan a crecer y lo ideal es que crezcan de forma erecta, pero en realidad ellos tienen comportamientos diferentes lo cual se denomina habito de crecimiento y se da porque algunos tallos crecen erectos pero inclinados, otros curvados, otros postrados y otros en estado intermedio, lo cual dificulta el proceso de cosecha.

Partes del tallo

El tallo está conformado por nudos y entrenudos. En cada nudo está inserta una hoja. Las hojas generalmente están distribuidas de forma alterna, en cuya axila se encuentra la yema. (Ver tabla 1)

Tabla 1. Partes que conforman el nudo y entrenudo

NUDO	ENTRENUDO
<ul style="list-style-type: none">• Cicatriz foliar• Anillo de crecimiento• Banda cerosa• Yema	<ul style="list-style-type: none">• Canal de la yema• Secciones corchosas• Rajaduras• Tricomas

FUENTE: Los autores

1.4.3. El bagazo de caña de azúcar

El Bagazo de caña se produce como consecuencia de la fabricación de azúcar y constituye un subproducto de esta producción. Es un combustible natural para producir vapor en las fábricas azucareras

Es un material fibroso, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña.

1.4.4. Propiedades físicas y químicas del bagazo

El bagazo completo está integrado por tres componentes principales: El recubrimiento, en el que se incluye la epidermis, la corteza y el periciclo, los mazos de fibra vascular, entre los que figuran las células conductoras de pared delgada asociadas con fibras de pared relativamente con estrecho lumen y el tejido básico (parénquima) o medula, con mazos de fibra distribuidos irregularmente.

1.5. CARACTERÍSTICAS DEL ESTROPAJO (*Luffa Cylindrica*)

1.5.1. Origen del estropajo ²⁸

No se conoce con exactitud su procedencia ya que es muy antiguo y aunque se pensaba que era originario de África, recientemente algunos expertos afirman que es originario de Asia Tropical y con mayor probabilidad de la India, lugar en donde todavía se encuentra en forma silvestre.

Ya que es una planta originaria de zonas tropicales, se adapta muy bien a las zonas costeras donde las temperaturas y la humedad relativa son elevadas, factores que repercuten en la calidad del producto, como elasticidad, resistencia y compactividad de la fibra.

En otros países se ha reportado una buena adaptación a climas con temperaturas entre 18 a 25 C con buena luminosidad y buena distribución de lluvias. Se conoce una buena respuesta de la planta en suelos ricos en materia orgánica con buena fertilidad. Niveles altos de nitrógeno y fósforo son idóneos debido a las exigencias nutricionales de esta planta.

1.5.2. Definición de Estropajo

El estropajo es una esponja vegetal y biodegradable que no genera desechos contaminantes, ni en la producción ni en los residuos. Se trata de una leguminosa, tipo cucurbitácea, de clima caliente y húmedo. Tiene reconocidas propiedades para el cuidado de la piel y la activación de la circulación sanguínea.

1.5.3. Morfología del Estropajo ²⁹

En la figura 5 se muestran en detalle, las partes de la planta de estropajo.

Figura 5. Partes del estropajo (LUFFA CYLINDRICA)



El tallo es sólido cuando joven y hueco al madurar, es herbáceo de entrenudos largos con cinco aristas bien marcadas, pubescente, hirsuto, escabroso y trepador. Puede alcanzar una longitud de 12 metros.



El sistema radical de la planta de estropajo está constituido por una raíz principal que puede profundizarse 80-120 cms dependiendo de la textura del suelo y numerosas ramificaciones secundarias que alcanzan una extensión hasta de 2 metros y ocupan los primeros 30 cms del suelo.



Las hojas son alternas, de forma triangular y con 5-7 lóbulos con bordes dentados. Su tamaño varía de 6 a 24 cm de largo por 8 a 16 cm de ancho.



La planta tiene flores masculinas y femeninas. Las flores masculinas llevan cinco estambres con anteras verduzcas, se desarrollan sobre una inflorescencia en racimo, en pedunculos más o menos indefinidos. Las flores femeninas nacen solitarias en pedunculos cortos, poseen un ovario liso y pistilo con tres ramas estigmáticas.



Los frutos en su estado tierno, son suaves y verdes, externamente marcados por líneas longitudinales oscuras. En su interior presentan una red cerrada de fibras, la mayoría son de tres cavidades pero existen de cuatro y cinco, por donde se desprenden y salen las semillas al madurar el fruto.

FUENTE: www.unalmed.edu.co/~crsequed/ESTROPAJO.ht

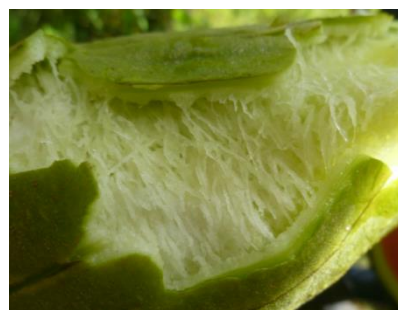
1.5.4. Anatomía del Estropajo ³⁰

El fruto del estropajo está conformado por fibras que tienen de 200-500 células conectadas por su pared celular y que rodea un canal longitudinal central. Los elementos de fibra son en realidad células muertas esclerenquimático con paredes gruesas y lignificadas y el protoplasma se reabsorbe. Las fibras son difíciles de separar y pueden diferir considerablemente en diámetro, longitud, y espaciamiento de los cordones de fibras. (Ver figura 6)

Figura 6. Detalle de las fibras del fruto del estropajo



a) Fibra del fruto seco



b) Fibra del fruto verde

1.5.5. Características de la fibra de Estropajo

Tabla 2. Características de la fibra del fruto del estropajo

CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar
	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)
Longitud promedio	1118	441	2824	492
Diámetro tangencial promedio	30	14	55	9
Diámetro tangencial del lumen	17	7	37	7,5
Espesor promedio de la pared	6	3	9	1
Coefficiente de flexibilidad	58			
Índice de esbeltez	38			

1.6. EL CONCRETO LIVIANO

El concreto liviano es un concreto en el que se han sustituido los áridos gruesos procedentes de canteras, por otros áridos denominados aligerados que hacen que este concreto sea mucho menos denso.³¹

La resistencia a la intemperie del concreto liviano es aproximadamente la misma que la del concreto ordinario y al ser comparado con este, tiene ventajas importantes como que disminuye las cargas y da una mejor resistencia al fuego y aislamiento térmico y acústico, pero es importante mencionar que también tiene desventajas y una de ellas tiene que ver con su precio, ya que incluyen un mayor costo que va de un 30 a 50 por ciento.

Este concreto liviano puede ser obtenido a través del uso de agregados de peso ligero que se producen mediante la expansión de la arcilla, esquisto, pizarra, perlita, obsidiana y vermiculita mediante la aplicación de calor, así también como de los depósitos naturales de piedra pómez, escoria, cenizas volcánicas, tobas y diatomita, y de cenizas industriales. De todos estos agregados livianos que se venden bajo diversos nombres comerciales, la piedra pómez es el agregado ligero natural más ampliamente utilizado.³²

La piedra pómez es una roca ígnea volcánica vítrea, con baja densidad (flota en el agua) de color blanco o gris y muy porosa ya que en su formación la lava proyectada al aire sufre una gran descompresión y como consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico. Triturada se puede utilizar para la fabricación de morteros u hormigones de áridos ligeros, destinados a mejorar las condiciones térmicas y acústicas y debido a su alta dureza se utiliza frecuentemente como abrasivo en los tratamientos superficiales de las rocas.³³

1.7. ANÁLISIS TEÓRICO DE LA RESPUESTA DEL MATERIAL AL FUEGO ³⁵

La resistencia de elementos puede determinarse con base en el contenido de los numerales J.3.5.1 a J.3.5.4 de la NSR-10. (Ver anexo 1)

Así pues, del numeral J.3.5.4.2 se obtiene la ecuación J.3.5-2 para determinar la resistencia contra el fuego de elementos de acero estructural con recubrimiento de concreto vaciado en el sitio o con placas prefabricadas de concreto. En la tabla 4 se muestran los datos empleados en la ecuación J.3.5-2.

$$R = R_0(1 + 0,03H) \quad \rightarrow \quad (J.3.5 - 2)$$

La resistencia al fuego, en minutos, R_0 , cuando el acero se protege con concreto que no tiene contenido de humedad se calcula mediante la ecuación J.3.5-3. Los datos empleados en la ecuación J.3.5-3 se muestran en la tabla 3.

$$R_0 = 14.74 \left(\frac{W}{P} \right)^{0.7} + 0.552 \left(\frac{e^{1.6}}{K_c^{0.2}} \right) \left[1 + 6.085 \times 10^{-5} \left(\frac{T_a}{d_c} C_c e(L + e) \right)^{0.8} \right] \quad \rightarrow \quad (J.3.5 - 3)$$

$$R_0 = 14.74 \left(\frac{1628,46}{960} \right)^{0.7} + 0.552 \left(\frac{10^{1.6}}{2182,09^{0.2}} \right) \left[1 + 6.085 \times 10^{-5} \left(\frac{46,975 * 1628,46}{1760} 83,74 * 10(200 + 10) \right)^{0.8} \right]$$

$$R_{01} = 118,328 \text{ minutos}$$

$$R_1 = 118,328(1 + 0,03 * 5) = 136,0772 \text{ minutos}$$

R_1 es la resistencia contra el fuego de elementos de acero estructural con recubrimiento de concreto, pero si se desea conocer solo la resistencia del recubrimiento, entonces las ecuaciones J.3.5-2 y J.3.5-3 quedan de la siguiente forma:

$$R_0 = 14.74 \left(\frac{W}{P}\right)^{0.7} + 0.552 \left(\frac{10^{1.6}}{2182,09^{0.2}}\right) \left[1 + 6.085 \times 10^{-5} \left(\frac{46,975 \cdot W}{1760} * 83,74 * 10(200 + 10)\right)^{0.8}\right]$$

$$R_0 = 14.74 + 0.552 \left(\frac{10^{1.6}}{2182,09^{0.2}}\right) \left[1 + 6.085 \times 10^{-5} \left(\frac{46,975}{1760} * 83,74 * 10(200 + 10)\right)^{0.8}\right]$$

$$R_0 = 19,71 \text{ minutos}$$

$$R_2 = 19,71(1 + 0,03 * 5) = 22,66 \text{ minutos} \rightarrow$$

Resistencia teórica del recubrimiento propuesto

Tabla 3. Datos empleados en la ecuación j.3.5-3

W	Peso promedio de la columna de acero estructural, por unidad de longitud (N/m). (Ejemplo: perfil HEA 550)	1628,46
P	Perímetro calentado de la columna de acero (mm).	960
E	Espesor del recubrimiento de concreto (mm).	10
Kc	Conductividad térmica del concreto a temperatura ambiente (J/h/m/°C)	2182,09
Ta	Capacidad térmica del acero de la columna = 46,975 x W (J/h/m/°C)	46,975 x W
dc	Densidad del concreto (kg./m3).	1760
Cc	Calor específico del concreto a temperatura ambiente (J/(N. °C)	83,74
L	Dimensión interior de un lado del cajón cuadrado de concreto que protege la columna de acero (mm).	200

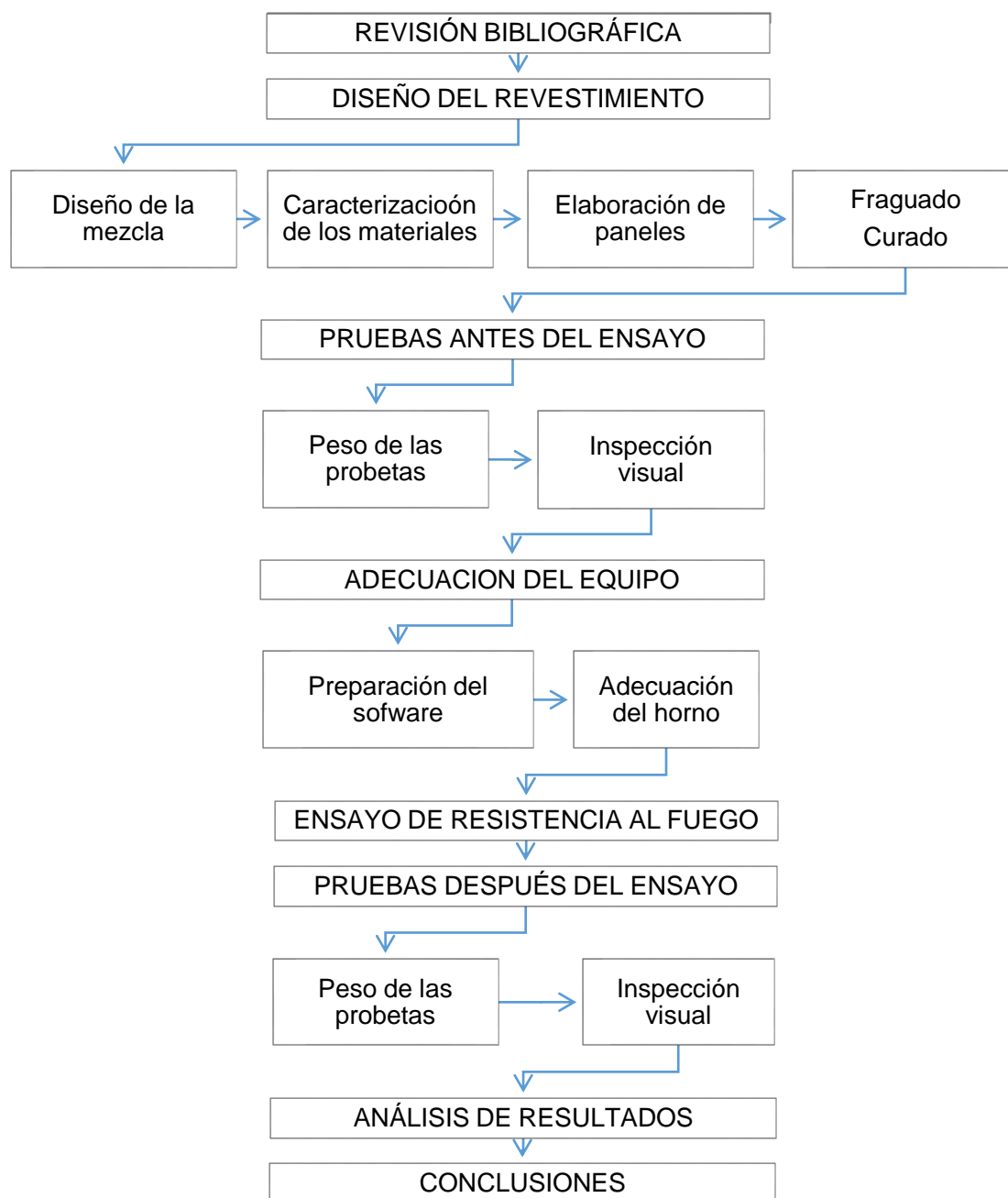
Tabla 4. Datos empleados en la ecuación J.3.5-2

R ₀	Resistencia al fuego, en minutos, sin contenido de humedad	118,328
H	Contenido de humedad, en porcentaje, de equilibrio del concreto, por volumen.	5

MARCO EXPERIMENTAL

En la figura 7 se muestra la metodología empleada para el desarrollo de la investigación.

Figura 7. Metodología empleada para el desarrollo de la investigación



FUENTE: Los autores

2.1. DISEÑO DEL REVESTIMIENTO.

2.1.1. Diseño de la mezcla

Se diseñó una mezcla de concreto aligerado con piedra pómez relación A/ A+P de 0,6 y relación A/C de 0,78 con el propósito de obtener mayor plasticidad según la ley de Abrams. ³⁴.

La dosificación empleada para la mezcla de concreto, se muestra a continuación en la tabla 5:

Tabla 5. Dosificación de la mezcla

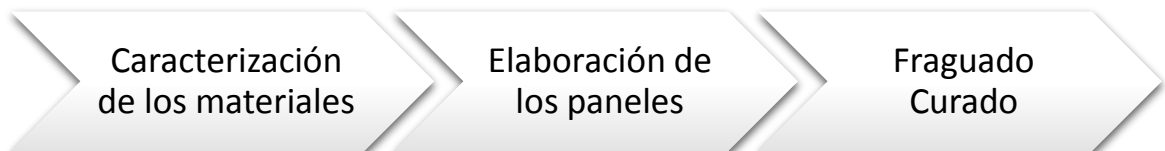
MATERIAL	Cemento	Agua	Arena	Piedra pómez	Cal
DOSIFICACION (g)	1000	781	875	250	188

FUENTE: Los autores

Elaboración de las probetas

En la figura 8 se muestra el procedimiento empleado para la elaboración de las probetas.

Figura 8. Procedimiento empleado para la elaboración de las probetas



FUENTE: Los autores

2.1.2. Caracterización de los materiales

Para la elaboración de las probetas se emplearon los siguientes materiales:

- Cemento porland tipo I
- Agregado grueso (Piedra pómez)
- Agregado fino (Arena)
- Fibra de refuerzo (Estropajo/bagazo)
- cal

A continuación se indican las características de los materiales empleados y se describe el procedimiento realizado en esta investigación.

- **FIBRAS DE REFUERZO**

- a) Obtención de la fibra**

Bagazo De Caña De Azúcar. El bagazo se obtuvo de un trapiche tradicional ubicado en la vía cite – Santana, lugar de operación panelera donde la caña de azúcar es exprimida y pasada por un proceso de extracción del cual queda este residuo que es acumulado y luego quemado con el fin de ser desechado, motivo por el cual se propone la utilización de esta fibra y así contribuir con el medio ambiente.

Es necesario aclarar que durante el almacenamiento se pueden presentar hongos y humedad, por lo cual se seleccionó bagazo de aproximadamente un mes de almacenamiento.

Estropajo (Luffa Cylindrica). La fibra de estropajo en su estado final nos fue suministrada por cultivadores del municipio de Chipata Santander. La fibra se seleccionó teniendo en cuenta su tamaño y contenido de humedad, los cuales se verificaron por inspección visual.

b) Tratamiento de la fibra

Figura 9. Tratamiento de la fibra de Bagazo De Caña De Azúcar



a. Remocion de la cascara de caña de azúcar

b. Cilindrado de la fibra

Figura 10. Tratamiento de la fibra de Estropajo (Luffa Cylindrica)



a. Abrir el estropajo



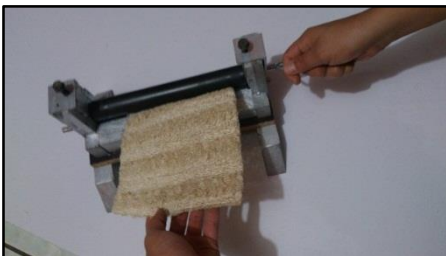
a'. Abrir el estropajo



b. Remover excesos



c. Trazado y cortado



d. Cilindrado de la fibra



e. Inmersión en silicato

FUENTE: Los autores

NOTA: Las fibras, tanto el bagazo de caña de azúcar como el estropajo se dejaron secar durante un periodo de 12 horas después de la inmersión en solución de silicato de sodio.

- ***PIEDRA PÓMEZ***

La piedra pómez se adquirió en una tienda especializada en productos de belleza ubicada en Barbosa Santander.

Esta se trituró según las especificaciones de la mezcla.

- ***ARENA***

Esta proviene del municipio de Mogotes, ubicado en el departamento de Santander a 33 Kilómetros del municipio de San Gil.

La arena fue tamizada para dar mayor plasticidad al mortero y eliminar el contenido de residuos.

- ***CEMENTO PORTLAND***

El tipo de cemento que se utilizó fue cemento Portland tipo I suministrado por la empresa cementos del oriente, dicho cemento cuenta con el sello de calidad ICONTEC Según información suministrada por el fabricante.

- ***AGUA***

El agua se añade a la mezcla con el fin de hidratar los componentes activos del cemento y actuar como lubricante haciendo posible que la masa sea trabajable, además de crear espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento.

- a) Agua de amasado: esta debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el material que disminuye su resistencia.
- b) Agua de curado: se añade para compensar las pérdidas de agua por evaporación y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación. La cantidad de agua debe ser abundante durante este proceso.

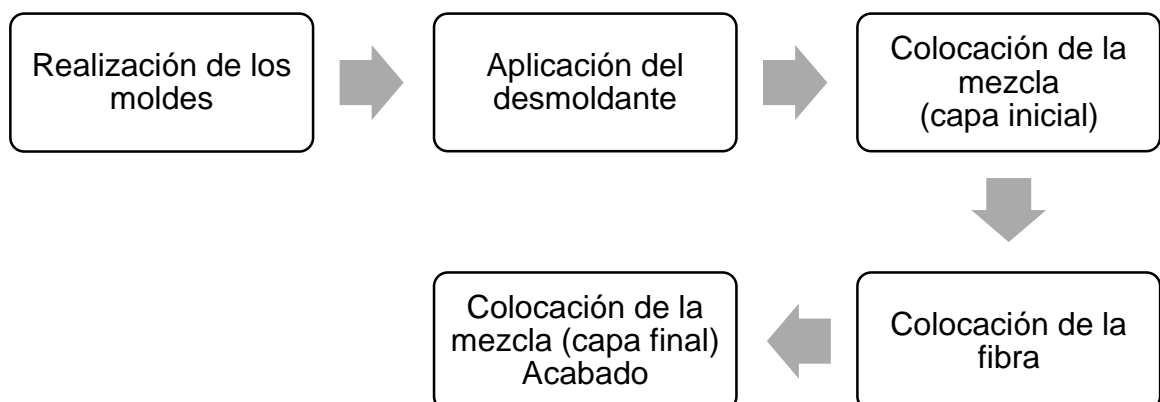
- **CAL**

Se empleó cal marca TECNICAL, con un porcentaje de calcio del 70%, producida por la fábrica Carbueros Mekong ubicada en la calle 105 vía el Porvenir Km 1, de la ciudad de Bucaramanga Santander.

2.1.3. Elaboración de los paneles

En la figura 11, se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración de los paneles:

Figura 11. Procedimiento para la elaboración de los paneles



FUENTE: Los autores

En esta investigación se emplearon probetas reforzadas con fibras de estropajo y bagazo de caña de azúcar en forma de paneles con dimensiones de 28 cm x 20 cm y espesores de 1 cm y 2 cm para poder analizar y comparar el comportamiento del material al fuego, para los espesores anteriormente citados.

- **Moldes empleados**

Para la elaboración de las probetas se empleó láminas de madera (triplex) de 62 cm de largo por 32 cm de ancho, y maderos cuadrados de balsa de 1 cm y 2 cm, ubicados de tal forma que en cada lamina se formara dos moldes con dimensiones internas de 28 cm de largo por 20 cm de ancho, y espesores de 1 cm y 2 cm. (ver figura 12)

Figura 12. Formaleta empleada para la elaboración de los paneles.



FUENTE: Los autores

Estas formaletas fueron recubiertas con una fina película de aceite desmoldante para facilitar el desencofrado de los paneles.

El proceso constructivo de los paneles se llevó a cabo de maneras diferentes para cada espesor ya que en los paneles de 1 cm de espesor no fue posible colocar la fibra de refuerzo con la misma libertad que en los paneles de 2 cm de espesor.

A continuación se describe brevemente el proceso constructivo para cada uno de ellos. (Ver figura 13)

a) Paneles de 1 cm de espesor: Luego de tener una mezcla homogénea se realizó el llenado de las formaletas hasta alcanzar una altura de 5 mm, Para luego colocar la fibra de refuerzo, la cual se recubrió con una película de agua-cemento con el fin de mejorar la adhesión con la mezcla.

Finalmente se aplicó la última capa de mezcla para recubrir la fibra y dar al panel el espesor deseado.

b) Paneles de 2 cm de espesor: De igual manera que para el panel de 1 cm de espesor se aplicó una capa inicial, pero, con una altura de 8 mm, seguidamente se colocó la fibra de refuerzo, la cual también se recubrió con agua-cemento.

Sobre la fibra se agregó una nueva capa de mezcla de aproximadamente 4 mm de espesor, aplicando sobre esta nudo de estropajo picado con el ánimo de disminuir considerablemente el peso del panel, este paso se omitió para los paneles reforzados con bagazo de caña de azúcar.

Finalmente se aplicó la última capa de mezcla con el fin de unir y recubrir la fibra picada dando un acabado final al panel.

Figura 13. Proceso constructivo de los paneles.



a) Colocación de la fibra (estropajo)



b) Recubrimiento de agua-cemento



c) Estropajo picado



d) Colocación de la fibra (Bagazo)



e) Panel terminado

FUENTE: Los autores

2.1.4. Fraguado y curado

Posteriormente a la elaboración de las probetas, estas se dejaron durante un periodo de fraguado de 72 horas humedeciendo constantemente para evitar pérdidas de humedad en los paneles.

Luego de las 72 horas de fraguado se procedió al desencofrado, para dar comienzo al proceso de curado con condiciones estándar de temperatura (23 °C al aire libre), manteniendo la humedad constante durante los siguientes 28 días.

2.2. PRUEBAS ANTES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO

a) PESO DE LOS PANELES

La tabla 6 muestra el peso presente en cada uno de los paneles antes de exponerlos al fuego.

Tabla 6. Peso de los paneles antes del ensayo de resistencia al fuego

	PANEL	ESPEJOR (cm)	PESO ANTES (gr)
1	MEZCLA CON ESTROPAJO PICADO	1	1036
2	MEZCLA CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	1	934
3	MEZCLA SIN POMEZ Y CON ESTROPAJO PICADO	1	1083
4	MEZCLA CON BARRERA DE ESTROPAJO	1	1037

FUENTE: Los autores

b) INSPECCIÓN VISUAL

A los paneles se les realizó una inspección visual con el propósito de observar su estado y características físicas presentes antes de ser expuestos al fuego, y de esta manera realizar una comparación con su estado luego de la prueba de resistencia al fuego.

En general los paneles se encuentran en buen estado.

2.3. ADECUACIÓN DEL EQUIPO EMPLEADO EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO

a) PREPARACIÓN DEL SOFTWARE

Para registrar los datos, se utilizó un programa desarrollado en Labview 8.5 por parte del grupo de investigación INME.

Este programa suministra los datos de la temperatura que se aplica y la existente en cada uno de los puntos donde se necesite conocer esta, pero para ello es necesario colocar termocuplas en los puntos requeridos y conectarlas al computador por medio de una tarjeta de adquisición.

Este programa contiene la curva normalizada de un incendio propuesta en la NTC 1480 e ISO 834 que debe ser seguida por la llama aplicada para simular un incendio, así pues, mientras la temperatura se va graduando manualmente, el programa va tomando datos de temperatura y de tiempo en los puntos donde se encuentran las termocuplas, que posteriormente se grafican en programas especializados.

b) ADECUACIÓN DEL HORNO

El horno que se empleó para realizar la prueba de resistencia al fuego, tiene unas dimensiones de 80x90x70 centímetros, se encuentra construido con ladrillos refractarios tipo tolete y contiene aberturas laterales para facilitar la instalación de las termocuplas. (ver figura 14)

Figura 14. Horno empleado para los ensayos de resistencia al fuego



FUENTE: Los autores

Para la adecuación del horno, se realizó la instalación de cuatro termocuplas, una en la cara expuesta al fuego para registrar la temperatura de la llama aplicada, y las otras tres se ubicaron de tal manera que registrarán la temperatura en la cara no expuesta del panel, estas últimas se dispusieron dejando una distancia de 2,5 cm entre sí, iniciando desde el foco de temperatura. En la figura 15 se muestra dicha distribución de las termocuplas.

Figura 15. . Distribución de termocuplas



FUENTE: Los autores

Como fuente de calentamiento se instaló un cilindro de gas propano, al que se le instaló una boquilla o “soplete” para producir la llama la cual se gradúa manualmente con la válvula del cilindro. (Ver figura 16)

Figura 16. . Fuente de calentamiento (Boquilla o “soplete”)



FUENTE: Los autores

2.4. ENSAYO PARA EVALUAR LA RESISTENCIA DEL REVESTIMIENTO AL FUEGO

La resistencia de los elementos estructurales se expresa en unidades de tiempo en función del concepto de tiempo equivalente, o tiempo que tarda un elemento determinado en alcanzar, en una prueba normalizada de incendio, el máximo calentamiento que experimentaría en un incendio real. El tiempo equivalente de un elemento se puede determinar experimental o analíticamente para el fuego normalizado estipulado en la norma NTC 1480 (ISO 834).³⁶ Este ensayo de resistencia al fuego se realizó según la NTC 1480 (ver anexo 2)

Para iniciar la prueba, se ubicó el primer panel en el sitio preparado para él, se verificó que las termocuplas se encontraran en su sitio y se produjo la llama con el soplete, la cual, al momento de poner en marcha el programa, se aplicó al panel y

durante la prueba se fue graduando de tal forma que alcanzara la temperatura deseada en función del tiempo para seguir la curva normalizada. Este procedimiento se siguió con todos los paneles.

Con el propósito de establecer una comparación, todos los paneles se sometieron a fuego, hasta alcanzar una temperatura aproximada de 760 °C, la cual se logra, según la curva normalizada, a los 20 minutos.

2.5. ENFRIAMIENTO

Cada panel se dejó dentro del horno aproximadamente 30 minutos con el fin de dejarlos enfriar y luego sacaron para pesarlos y observar daños.

2.6. PRUEBAS DESPUES DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO

a) PESO DE LOS PANELES

Tabla 7. Peso de los paneles antes y después del ensayo

	PANEL	ESPEJOR (cm)	PESO ANTES (gr)	PESO DESPUES (gr)
1	MEZCLA CON ESTROPAJO PICADO	1	1036	949
2	MEZCLA CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	1	934	846
3	MEZCLA SIN PÓMEZ Y CON ESTROPAJO PICADO	1	1083	968
4	MEZCLA CON BARRERA DE ESTROPAJO	1	1037	911

FUENTE: Los autores

En el anexo 3 se muestra el cálculo del peso específico del revestimiento propuesto y de otros materiales que existen en el mercado, con el fin de establecer una comparación entre ellos.

b) INSPECCIÓN VISUAL

En general, los paneles presentaron una coloración rosada y algunas grietas. (Ver figura 17). A los paneles se les realizó un corte para verificar su estado interno y se observó que las fibras se quemaron dejando huecos.

Figura 17. Paneles antes y después del ensayo de resistencia al fuego

a) Antes



b) Después



FUENTE: Los autores

ANÁLISIS DE RESULTADOS

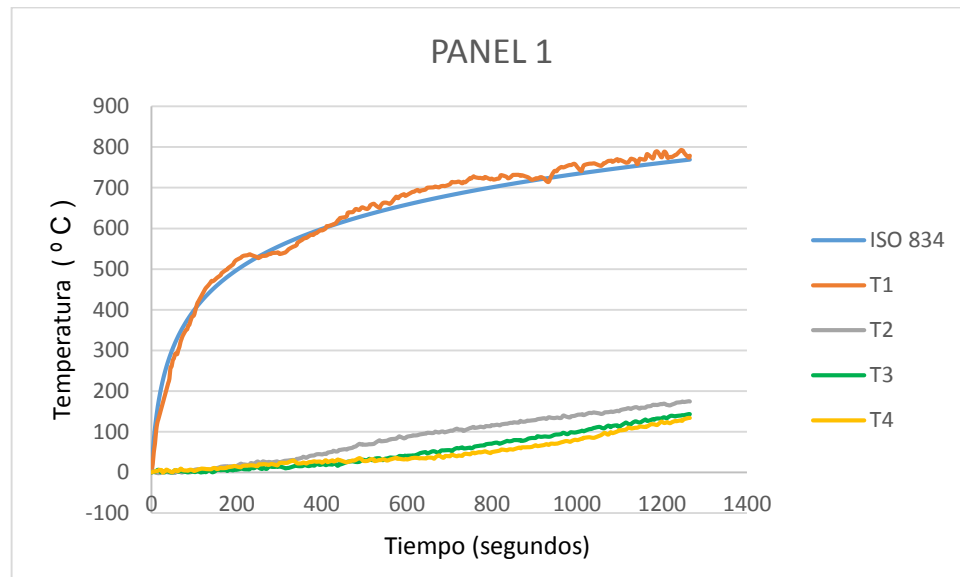
3.1. COMPORTAMIENTO DE LOS PANELES ANTE EL FUEGO

Todos los paneles se sometieron al ensayo de resistencia al fuego siguiendo la curva normalizada de un incendio durante 20 minutos, tiempo durante el cual, en los paneles se observó buen comportamiento de resistencia y aislamiento al fuego.

- **PANEL 1:** (MEZCLA CON ESTROPAJO PICADO)

En la cara no expuesta y justo en el punto de concentración de la llama, el panel alcanza una temperatura de 168°C (línea gris) siendo la máxima a los 20 minutos (1200 segundos); mientras que las termocuplas ubicadas a 2,5 cm y 5 cm del foco de temperatura, registran temperaturas de 134°C y 125°C respectivamente, (línea azul y línea amarilla). En la figura 18 se pueden apreciar los valores anteriormente mencionados.

Figura 18. Registro de temperaturas, PANEL 1



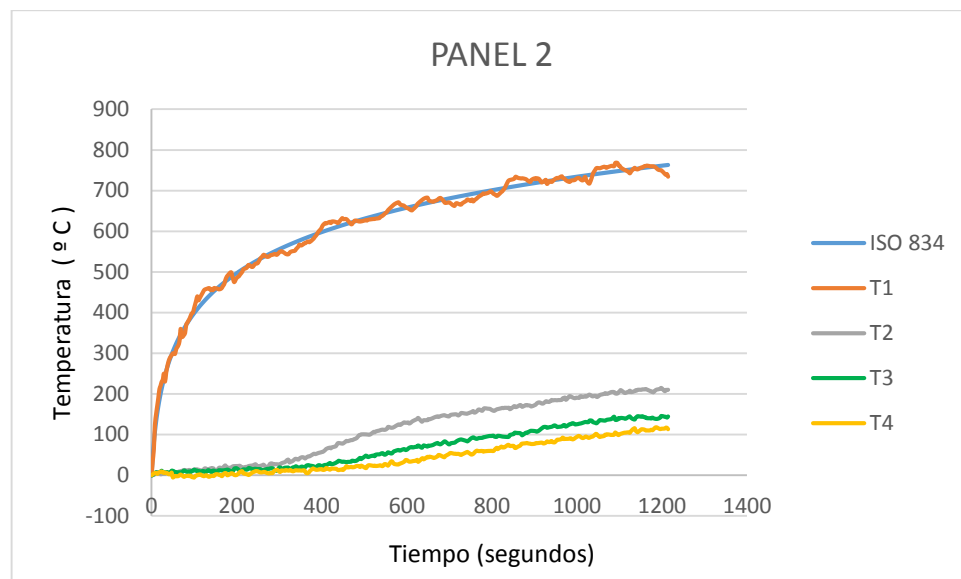
FUENTE: Los autores

- **PANEL 2** : (MEZCLA CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR)

En la cara no expuesta y justo en el punto de concentración de la llama, el panel alcanza una temperatura de 215 °C (línea gris) siendo la máxima a los 20 minutos (1200 segundos); mientras que las termocuplas ubicadas a 2,5 cm y 5 cm del foco de temperatura, registran temperaturas de 146°C y 114°C respectivamente, (línea azul y línea amarilla).

En la figura 19 se pueden apreciar los valores anteriormente mencionados.

Figura 19. Registro de temperaturas, PANEL 2



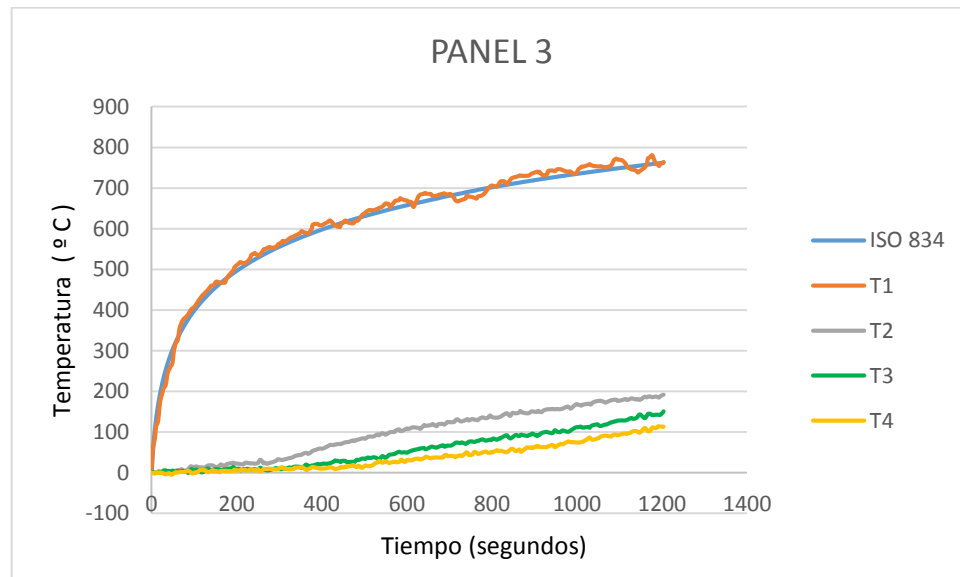
FUENTE: Los autores

- **PANEL 3** : (MEZCLA SIN PÓMEZ Y CON ESTROPAJO PICADO)

En la cara no expuesta y justo en el punto de concentración de la llama, el panel alcanza una temperatura de 190 °C (línea gris) siendo la máxima a los 20 minutos (1200 segundos); mientras que las termocuplas ubicadas a 2,5 cm y 5 cm del foco de temperatura, registraron temperaturas de 147°C y 112°C respectivamente, (línea azul y línea amarilla).

En la figura 20 se pueden apreciar los valores anteriormente mencionados.

Figura 20. Registros de temperatura, PANEL 3

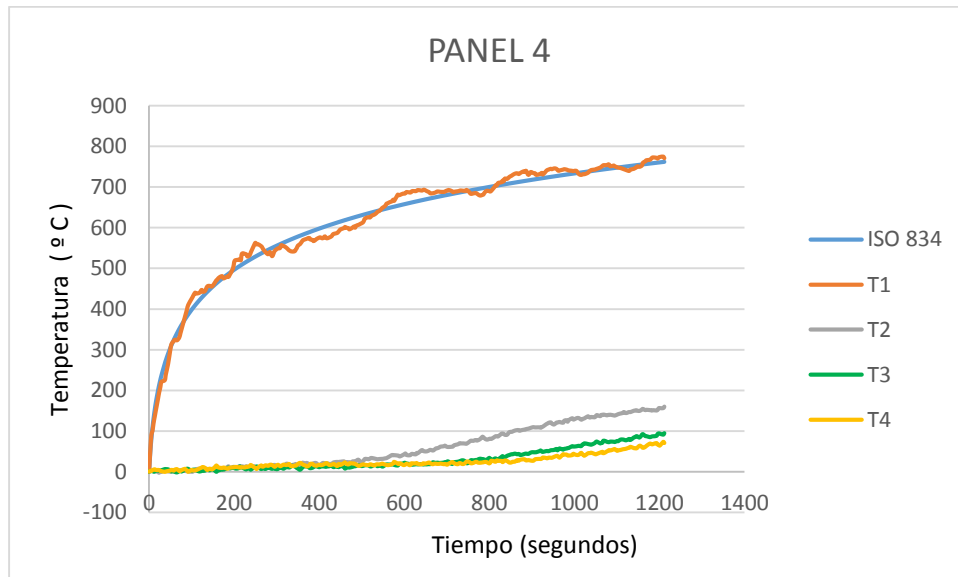


FUENTE: Los autores

- **PANEL 4:** (MEZCLA CON BARRERA DE ESTROPAJO)

En la cara no expuesta y justo en el punto de concentración de la llama, el panel alcanza una temperatura de 157 °C (línea gris) siendo la máxima a los 20 minutos (1200 segundos); mientras que las termocuplas ubicadas a 2,5 cm y 5 cm del foco de temperatura, registran temperaturas de 94°C y 65°C respectivamente, (línea azul y línea amarilla). En la figura 21 se pueden apreciar los valores anteriormente mencionados.

Figura 21. Registros de temperatura, PANEL 4



FUENTE: Los autores

Según estos resultados, el panel No. 4 presenta mayor aislamiento, lo que indica que la fibra de estropajo dispuesta en forma de barrera, mejora considerablemente las propiedades térmicas del material. La temperatura máxima alcanzada por este panel es de 157°C, siendo 11°C menor que la alcanzada por el panel No.1 (168°C), el cual contiene como refuerzo fibra de estropajo picado; 33°C menor que la alcanzada por el panel No. 3 (190°C), que se realizó excluyendo la piedra pómez de la mezcla y al igual que el panel No. 1 se reforzó con estropajo picado; y 58°C menor que la alcanzada por el panel No. 2 (215°C), el cual se reforzó con fibra de bagazo de caña de azúcar.

3.2. ESPESOR ÓPTIMO

Teniendo en cuenta que la resistencia ofrecida por los paneles de 1 cm es considerablemente buena, se toma este espesor como óptimo, ya que un espesor mayor incrementa costos de elaboración de los paneles y a la vez aumenta el peso en la estructura, mientras que uno de menor espesor es prácticamente imposible de realizar debido al espesor de las fibras y al recubrimiento necesario que debe cubrir las.

3.3. COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA TEÓRICA Y LA EXPERIMENTAL

Teniendo en cuenta que a los 20 minutos del ensayo de resistencia al fuego, los paneles comienzan a presentar pequeñas grietas, el ensayo solo se llevó hasta la temperatura alcanzada en este tiempo para garantizar un revestimiento que todavía posea resistencia y que no haya fallado.

Al comparar este resultado con el resultado obtenido teóricamente, se observa que realmente la resistencia es de aproximadamente 20 minutos, ya que según el análisis teórico, el material resiste 22,66 minutos.

El resultado obtenido ayuda a minimizar el riesgo de colapso de la estructura durante las labores de evacuación y extinción, ofreciendo mayor tiempo para que los ocupantes de la estructura evacuen.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo del ensayo de resistencia al fuego era observar el comportamiento del revestimiento propuesto ante el fuego con respecto a un ensayo de fuego según la NTC 1480. A partir de los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguiente:

- Las fibra de refuerzo actúa como barrera térmica los primeros minutos, posteriormente, con el aumento de la temperatura esta se calienta y se quema dejando vacíos, los cuales se comportan como cámaras de aire que ayudan a aislar la temperatura.
- El revestimiento satisface el criterio de aislamiento impuesto en la norma NTC 1480, ya que al exponer una de sus caras al fuego durante un periodo de 20 minutos alcanza una temperatura de 760°C, mientras que la cara no expuesta no excede a la temperatura inicial en más de 180°C.
- La respuesta teórica del material propuesto coincide con el tiempo en el cual el material comienza a tener indicios de falla, por lo tanto la resistencia del material es aproximadamente de 20 minutos, teniendo en cuenta que la resistencia se expresa en unidades de tiempo en función del concepto de tiempo equivalente, o tiempo que tarda un elemento determinado en alcanzar, en una prueba normalizada de incendio, el máximo calentamiento que experimentaría en un incendio real
- Los paneles elaborados en este trabajo de investigación, en especial los reforzados con fibra de estropajo dispuesta en forma de barrera, son una clara solución para mantener la integridad estructural, ya que evita la reducción en la capacidad resistente de la estructura metálica que se produce por el incremento de la temperatura.

- El espesor óptimo recomendado para el revestimiento es de 1 cm y no de 2cm, ya que para 1cm el material presenta buenas características de resistencia y aislamiento del fuego, además de ser más liviano lo que facilita su manipulación. También se recomienda por economía.
- El revestimiento satisface el título J.3.5.4 de la NSR-10 ya que la resistencia que ofrece es mayor a 15 minutos de conformidad con lo planteado en este título.

BIBLIOGRAFÍA

1. NORMA TECNICA COLOMBIANA. Comportamiento al fuego- Vocabulario. NTC 1355: 1977. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1977. p 2.
2. NORMA TECNICA COLOMBIANA. Comportamiento al fuego- Vocabulario. NTC 1355: 1977. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1977. p 4
3. STORCH DE GRACIA, José M^a y GARCIA MARTIN, Tomas. Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas, Fundamentos, evaluación de riesgos y diseño. 2 Ed. España: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2008. p 72.
4. EXPOWER.ES [en línea]. <<http://www.expower.es/calor-temperatura.htm>> [citado en Diciembre de 2012]
5. ANTONIO MIRAVETE, Los nuevos materiales en la construcción.2 edición. España: EDITORIAL REVERTÉ S.A., 1995. p 66
6. NUTSCH, W. Tecnología de la madera y del mueble. Barcelona: REVERTE, S.A., 2000. p 402
7. NORMA TECNICA COLOMBIANA. Comportamiento al fuego- Vocabulario. NTC 1355: 1977. Bogotá D.C.: ICONTEC, 1977. p 2.
8. Gómez-Aleixandre, S. I. Castañeda, in Laminas delgadas y recubrimientos preparación, propiedades y aplicaciones Albella J. M., Ed. (Madrid, 2003).
9. Arroyo R. M., Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid (2002).
10. Tsipas S. A., Tesis Doctoral, University of Cambridge (2005).

11. Rohr V.M., Tesis Doctoral, Institut National Polytechnique de Toulouse (2005).
12. Matthew J Donachie Donachie S. J, Superalloys (ed. second edition, 2002), pp.
13. Mohanty AK, Misra M, Hinrichsen G. *Macromol Mater Eng* 2000; 276/277: 1.
14. R. M. Rowell. Natural fibres: types and properties. In Kim L. Pickering, editor, *Properties and performance of natural-fiber composites*, Woodhead Publishing in Materials, chapter 1, pages 3–66. Woodhead Publishing, Cambridge, England, 2008.
15. Mohanty AK, Misra M, Drzal TD editors. *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposites*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005.
16. Mediavilla V, Bassetti P, Leupin M, Mosimann E. *Agarforschung* 1999; 6: 393.
17. Scallan AM. *Textile Res J* 1971; 41(8): 647.
18. CORRALES, Farners. Modificació de fibres de jute per Lélaboració de plásticos Reforcats. Universidad Politécnica de Cataluña. Cataluña. 2002.
19. Yao F, Wu Q, Lei Y, Guo W, Xu Y. *Poym Degrad Stab* 2008; 93: 90.
20. Di Blasi C, Branca C. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2001;40.
21. Wollerdorfer M, Bader H. *Ind Crop Prod* 1998; 8; 105.
22. Wielage B, Lampke Th, Utschick F, Soergel F. *J Mater Process Tech* 2003; 139:140.
23. Hermann AS, Nickel J, Riedel U. *Polym Degrad Stab* 1998; 59: 251.

24. Mohanty AK, Misra M, Hinrichsen G. *Macromol Mater Eng* 2000; 276/277: 1.
25. Chen BQ, Evans JRG. *Carbohydr Polym* 2005; 61:455.
26. Antal MJ Jr, Varhegyi G. *Ind Eng Chem Res* 1995; 34: 703.
27. SUBIROS RUIZ, Fermín. *Cultivo de la caña de azúcar*. Primera Ed: San José, Costa Rica, Universidad estatal a distancia, 1995. p 3-27.
28. Diaz J, A., Ávila L. M. 2002 *Sondeo del mercado mundial de Estropajo (Luffa cilíndrica)* Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogota, Colombia. 17 pp
29. RICAURTE MIRANDA [en línea] <http://www.unalmed.edu.co/~crsequed/ES_TROPAJO.htm> [citado en Diciembre de 2012]
30. ARAYA TORTÓS ANA LUCÍA [en línea]< <http://prezi.com/yjrjro-pd86iv/luffa-cilindrica/> > [citada en diciembre de 2012]
31. HORMISSA [en línea] < <http://www.hormissa.com/acelerado.pdf> > [citada en enero 2013]
32. FLYING CONCRETE [en línea] <<http://www.flyingconcrete.com/manual2.htm> > [citada en enero de 2013]
33. WIKIPEDIA [en línea] < <http://es.wikipedia.org/wiki/Pumita> > [citada en enero de 2012]

34. [en línea] < <http://www.slideshare.net/chris183/el-concreto> > [citada en enero de 2013]

35. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Título J.
Bogotá D.C.: La comisión, 2010. p J-22.

36. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.
Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, Título J.
Bogotá D.C.: La comisión, 2010. p J-19

ANEXOS

ANEXO A. TITULO J — REQUISITOS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN EDIFICACIONES (NSR 10)

Evaluación de la provisión de resistencia contra fuego en elementos de edificaciones

La resistencia de los elementos estructurales y de compartimentación de las edificaciones se expresa en unidades de tiempo en función del concepto de tiempo equivalente, o tiempo que tarda un elemento determinado en alcanzar, en una prueba normalizada de incendio, el máximo calentamiento que experimentaría en un incendio real.

El tiempo equivalente de un elemento podrá determinarse experimental o analíticamente para el fuego normalizado estipulado en la norma NTC 1480 (ISO 834). Alternativamente se puede utilizar la norma NFPA 259 – Método de prueba normalizado para el potencial de calor de materiales de construcción. La determinación experimental se hará por medio de ensayos ajustados a la norma ASTM E119.

Si se opta por la determinación analítica ésta se hará siguiendo un procedimiento racional de cálculo que incluya el potencial combustible, el área de piso, la superficie total expuesta, el área de ventilación, la altura de los muros, sus propiedades conductoras y demás factores pertinentes a juicio del diseñador.

Alternativamente, la resistencia de elementos puede determinarse con base en el contenido de los numerales J.3.5.1 a J.3.5.4.

Elementos de acero estructural

Elementos de acero estructural sin ninguna protección no poseen resistencia contra fuego de más de 15 minutos y sólo son apropiados para uso en edificaciones o recintos que no requieren de protección contra el fuego, de acuerdo con el numeral J.3.3.3.

Para resistencias mayores el acero debe proveerse con productos adheridos para protección contra el fuego.

J.3.5.4.1 — Los productos adheridos para la protección contra el fuego de elementos de acero estructural deben aplicarse de acuerdo con las indicaciones del fabricante y estar avalados por instituciones reconocidas internacionalmente para tal efecto.

J.3.5.4.2 — La resistencia contra el fuego de elementos de acero estructural también puede proveerse con recubrimiento de concreto vaciado en el sitio o con placas prefabricadas de concreto y puede calcularse mediante la ecuación J.3.5-2.

$$R = R_0 (1+0.03H) \quad (J.3.5.2)$$

Donde:

R = resistencia al fuego, en minutos, en condiciones de equilibrio de humedad.

R₀ = resistencia al fuego, en minutos, sin contenido de humedad.

H = contenido de humedad, en porcentaje, de equilibrio del concreto, por volumen.

J.3.5.4.3 - La resistencia al fuego, en minutos, R₀, cuando el acero se protege con concreto que no tiene contenido de humedad se calcula mediante la ecuación J.3.5-3.

$$R_0 = 14.74 \left(\frac{W}{P} \right)^{0.7} + 0.552 \left(\frac{e^{1.6}}{K_c^{0.2}} \right) \left[1 + 6.085 \times 10^{-5} \left(\frac{T_a}{d_c} C_c e (L + e) \right)^{0.8} \right]$$

Donde:

W = peso promedio de la columna de acero estructural, por unidad de longitud (N/m).

P = perímetro calentado de la columna de acero (mm).

e = espesor del recubrimiento de concreto (mm).

kc = conductividad térmica del concreto a temperatura ambiente (J/h/m/°C).

Ta = capacidad térmica del acero de la columna = 46,975 x W (J/h/m/°C).

dc = densidad del concreto (kg./m3).

Cc = calor específico del concreto a temperatura ambiente (J/(N. oC)

L = dimensión interior de un lado del cajón cuadrado de concreto que protege la columna de acero (mm).

J.3.5.4.4 — Cuando no se posean las propiedades térmicas del hormigón concreto que se usará en la obra, pueden usarse los valores especificados en la tabla J.3.5-3

Tabla J.3.5-3
Propiedades térmicas del concreto.

Propiedad	Peso del concreto	
	Normal	Liviano
Conductividad térmica, k_c , W/m/K	1.644	0.606
Calor específico C_c , J/kg./K	837.4	837.4
Densidad, d_c , kg./m ³	2400	1760
Contenido de humedad de equilibrio por unidad de volumen, H, %	4	5

ANEXO B. ENSAYO DE RESISTENCIA AL FUEGO (NTC 1480)

Antecedente: International Organization For Standardization (ISO 834)

Objeto del ensayo: Esta norma determina un método de ensayo y fijar un criterio para determinar la resistencia al fuego de diferentes tipos de elementos de construcción, en relación con el tiempo, durante el cual, elementos de dimensiones determinadas que se sometan al ensayo, deben satisfacer los criterios impuestos bajo las condiciones prescritas, durante el período de exposición al fuego.

Equipo utilizado

- Horno: Capaz de someter un elemento de ensayo a las condiciones de temperatura y presión indicadas
- Termopares: para medir la temperatura interna del horno y de la superficie

Condiciones del ensayo

- TEMPERATURA

La temperatura en el interior del horno se podrá controlar dentro de los límites especificados en los numerales 6.2.4 y 6.2.5 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$T - T_o = 345 \log_{10}(8t + 1)$$

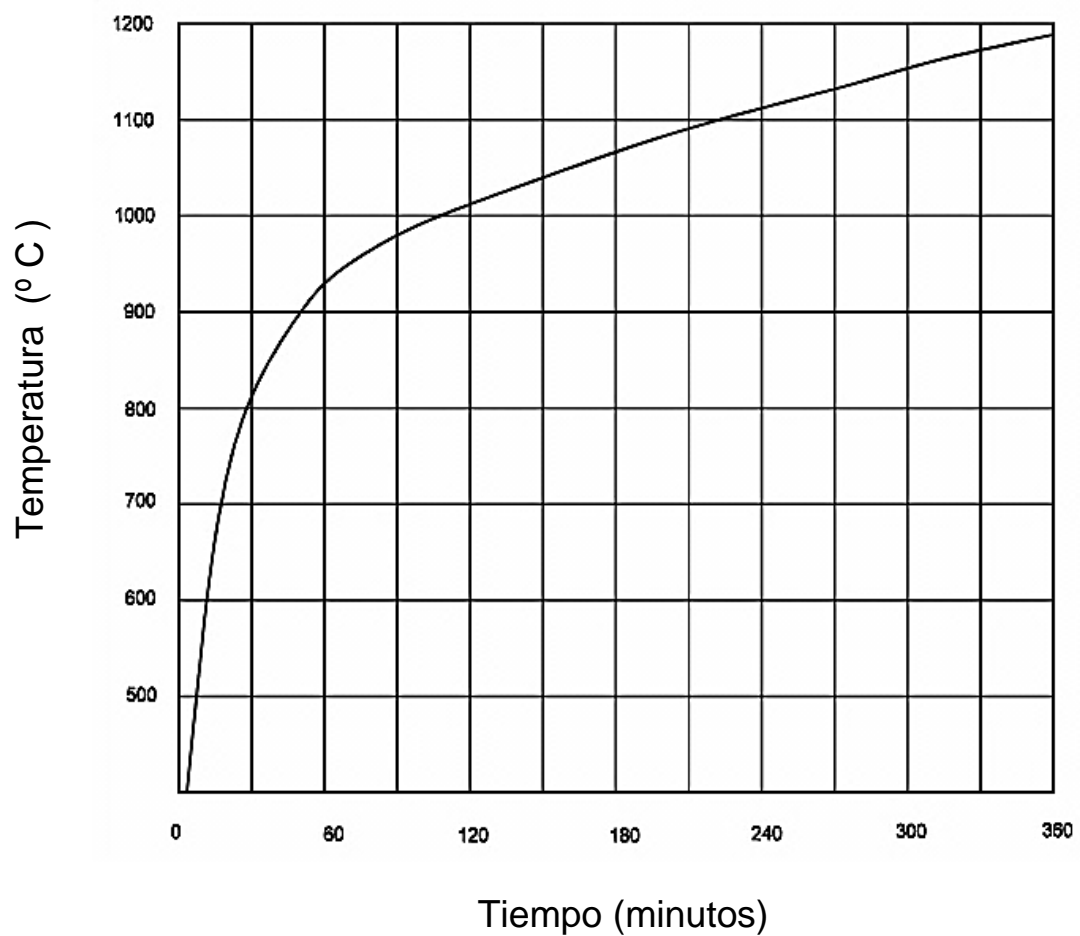
Donde:

t : tiempo expresado en minutos

T : temperatura del horno en el tiempo t , medida en grados Celsius.

T_0 : temperatura inicial del horno, medida en grados Celsius.

La ecuación anterior corresponde al gráfico de la Figura, que representa la curva normalizada tiempo-temperatura.



De esta ecuación se obtienen los valores numéricos que se indican en la siguiente tabla:

Tiempo t mín	Elevación de la temperatura del horno (T – T _o) en función del tiempo
5	556
10	659
15	718
30	821
60	925
90	986
120	1 029
180	1 090
240	1 133
360	1 193

Método del ensayo

Elementos de separación. Representados por muestras de ensayo de elementos cuya función es separar espacios, éstos deben calentarse sobre el total de una de sus caras únicamente. Los elementos que tengan que resistir al fuego en una sola dirección, se deben ensayar de acuerdo a ésta.

Los elementos que tengan que resistir al fuego en cualquier dirección, se deben ensayar en la dirección, que a juicio del cuerpo de ensayo ofrezca la menor resistencia. En caso de duda cada cara debe ser ensayada por separado.

Criterios

AISLAMIENTO

En el caso de elementos con una superficie no expuesta al calor, la temperatura de ésta debe medirse por medio de cinco termopares como mínimo, uno de los cuales se coloca aproximadamente en el centro de la cara y los otros aproximadamente en

los puntos medios de las rectas que unen el centro con las esquinas. Otros termopares adicionales deben disponerse tan uniformemente como sea posible sobre la cara no expuesta de la muestra.

Ninguno de estos termopares colocados para medir la elevación media de temperatura, debe fijarse en su posición utilizando elementos metálicos o más cerca de 100 mm al borde de la muestra de ensayo. En el caso de estructuras que comprendan elementos compuestos, la disposición del elemento para el ensayo se debe asegurar de forma que las uniones no coincidan con los puntos de medida antes indicados.

La medida de las temperaturas en estos puntos, sin contar las temperaturas tomadas en las uniones, se considera como la temperatura media de la cara no expuesta.

Temperatura máxima de la cara no expuesta, Como complemento, se debe medir, en cualquier momento durante el ensayo, la temperatura en el punto en que aparezca como la más elevada. Esta temperatura no debe emplearse para calcular la temperatura media, excepto el punto en el cual la temperatura corresponde a una de las localizaciones especificadas en el numeral 6.4.3.1, pero se debe tener en cuenta para determinar si se ha cumplido con el criterio de máxima temperatura

Duración del ensayo

Normalmente, el elemento que se ensaya se calienta en la forma prescrita, hasta que se observe el fallo de alguno de los requisitos exigidos en la prueba, principalmente:

- a) Capacidad de soporte de carga
- b) Aislamiento

c) Estanqueidad

RESISTENCIA AL FUEGO

La resistencia al fuego de los elementos para el ensayo, se da por el tiempo, expresado en minutos, de la duración del calentamiento, de acuerdo a la curva normalizada, hasta que dejen de cumplirse las condiciones relativas a capacidad de soporte de carga, aislamiento, estanqueidad, de acuerdo a la función apropiada para cada elemento que se ensaye.

CRITERIO DE RESISTENCIA AL FUEGO

El criterio funcional de la resistencia al fuego comprende los requisitos relacionados con la capacidad de soporte de carga, para un elemento estructural que tenga que soportar carga; aislamiento y estanqueidad, para un elemento de separación, y capacidad de soporte de carga. Así como estanqueidad y aislamiento, para un elemento de separación y de soporte de carga.

Aislamiento. Para elementos de estructura tales como muros y pisos cuya función es la de separar dos partes del edificio se requiere:

Que la temperatura media de la cara no expuesta del elemento no aumente sobre la temperatura inicial en más de 140 °C

Que la temperatura máxima en cualquier punto de esta cara no exceda a la temperatura inicial en más de 180 °C, y prescindiendo de la temperatura inicial, no debe exceder de 220 °C.

ANEXO C. CÁLCULO DEL PESO ESPECÍFICO DEL REVESTIMIENTO

Se le llama **Peso específico** a la relación entre el peso de una sustancia y su volumen.

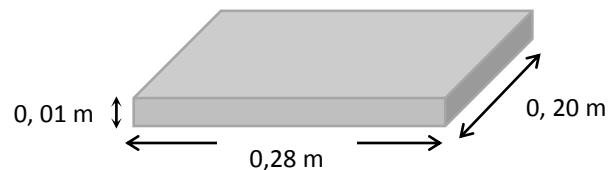
Su expresión de cálculo es:

$$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

Siendo,

- γ , el peso específico;
- P , el peso de la sustancia;
- V , el volumen de la sustancia;
- ρ , la densidad de la sustancia;
- m , la masa de la sustancia;
- g , la aceleración de la gravedad.

Las dimensiones del panel son las siguientes:



$$\gamma_{panel 1} = \frac{P}{V} = \left(\frac{m \cdot g}{V} \right) = \left(\frac{1,036 \cdot 9,81}{0,01 \cdot 0,28 \cdot 0,20} \right) = 18.148,5 \frac{N}{m^3}$$

	PANEL	ESPESOR (cm)	PESO (gr)	PESO ESPECIFICO
1	MEZCLA CON ESTROPAJO PICADO	1	1036	18149 N/m ³
2	MEZCLA CON BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR	1	934	16362 N/m ³
3	MEZCLA SIN POMEZ Y CON ESTROPAJO PICADO	1	1083	18972 N/m ³
4	MEZCLA CON BARRERA DE ESTROPAJO	1	1037	18166 N/m ³

A continuación se muestran algunos materiales existentes en el mercado (CALORCOL) con sus respectivos pesos específicos:

REVESTIMIENTOS		DENSIDAD	PESO ESPECIFICO
1	FC- 350	350 Kg/m ³	3433 N/m ³
2	FENDOLITE	768 Kg/m ³	7534 N/m ³
3	PLACAS RIGIDAS PARA PROTECCION CONTRA FUEGO	144 Kg/m ³	1411 N/m ³