

**OBTENCIÓN DE UN AISLANTE TÉRMICO CON PROPIEDADES IGNÍFUGAS,
A PARTIR DE PAPEL POST CONSUMO**

CRISTIAN FERNANDO BAUTISTA PINZON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2011**

**OBTENCIÓN DE UN AISLANTE TÉRMICO CON PROPIEDADES IGNÍFUGAS,
A PARTIR DE PAPEL POST CONSUMO**

CRISTIAN FERNANDO BAUTISTA PINZON

**Trabajo de grado presentado como requisito para
Obtener el título como Ingenieros Químicos**

Director de proyecto

JOSE CARLOS GUTIERREZ GALLEGO

Químico M.Sc

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su esfuerzo y dedicación me han brindado su apoyo incondicional durante mi estadía en la universidad industrial de Santander, permitiéndome obtener una formación superior como ingeniero químico. A ellos que con su ejemplo y alta moral me guiaron por este camino estando pendientes de cada paso, felicitándome si era necesario y corrigiendo con amor de padres si en algún momento me equivocaba.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por todas sus bendiciones.

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarme la oportunidad de ser parte de ella.

Al profesor José Carlos Gutiérrez, por su colaboración y apoyo en el desarrollo del proyecto de investigación.

A mis compañeros del laboratorio de química industrial, los cuales me aportaron con su conocimiento y amistad.

A mis Hermanos, Tíos y amigos, los cuales me brindaron su apoyo incondicional en aquellos momentos difíciles, permitiéndome continuar y el día de hoy llegar a ser una mejor persona y un gran profesional.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	16
1.1. AISLAMIENTO TÉRMICO	16
1.2. PAPEL POST CONSUMO	17
1.3. SILICATO DE SODIO	17
1.4. ÁCIDO BORICO	17
1.5. TRATAMIENTO TÉRMICO O PIRÓLISIS	18
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	19
2.1. DISPOSICIÓN DE LAS LÁMINAS	20
2.2. PRENSADO	20
2.3. SECADO	21
2.4. TRATAMIENTO TÉRMICO	21
2.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS	22
2.5.1. Características geométricas	22
2.5.2. Resistencia a agentes atmosféricos	22
2.5.3. Resistencia al ataque químico	22
2.5.4. Determinación de densidad	23
2.6. Test de Llama	23
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	24
3.1. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS PIROLIZADAS	24
3.1.1. Características geométricas	25
3.1.2. Determinación de densidad	25
3.1.3. Resistencia a agentes atmosféricos	26
3.1.4. Resistencia al ataque químico	26
3.1.5. Test de Llama	27

3.2.	OTRAS CONSIDERACIONES OBSERVADAS	28
3.3.	VIABILIDAD ECONOMICA DEL AISLANTE TERMICO OBTENIDO.....	28
3.4.	APORTE SOCIAL, AMBIENTAL, ECONÓMICO Y TECNOLÓGICO.....	29
3.4.1.	Aporte social	29
3.4.2.	Aporte ambiental	29
3.4.3.	Aporte económico	30
3.4.4.	Aporte tecnológico.....	30
4.	CONCLUSIONES	32
	BIBLIOGRAFÍA.....	34
	ANEXOS.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Funciones, características y ejemplos de aislantes térmicos.....	16
Tabla 2. Resultados muestras pirolizadas.	24
Tabla 3. Comparación entre las muestras después del tratamiento térmico.....	25
Tabla 4. Determinación de la densidad de las probetas.....	26
Tabla 5. Resultados test de llama.	27

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1. Diagrama de elaboración del material.....	20
--	----

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Muestras prensadas	35
Foto 2. Poros presentes en el material.	35
Foto 3. Fotos densidad del material.....	36
Foto 4. Fotos de la capa pegajosa de la muestra tipo II	36
Foto 5. Resistencia al ataque químico.	37
Foto 6. Test de llama	37
Foto 7. Adherencia del material a varias superficies.....	38
Foto 8. Comportamiento del ácido bórico con silicato de sodio	38

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. PRENSADO DEL MATERIAL INICIAL.	35
Anexo B. porosidad del material	35
ANEXO C. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.	36
ANEXO D. ATAQUE DEL AMBIENTE AL MATERIAL.	36
ANEXO E. ATAQUE QUÍMICO.....	37
ANEXO F. TEST DE LLAMA	37
ANEXO G. DILATACIÓN Y CAPACIDAD DE ADHERENCIA DEL MATERIAL.....	38
ANEXO H. NECESIDAD DEL PAPEL POST CONSUMO.....	38

RESUMEN

TÍTULO: OBTENCIÓN DE UN AISLANTE TÉRMICO CON PROPIEDADES IGNÍFUGAS, A PARTIR DE PAPEL POST CONSUMO.

AUTORES: Sandra Ariza Mateus. Cristian Fernando Bautista Pinzón**.

PALABRAS CLAVE: Reciclar, Aislante Térmico, Propiedades Ignifugas, Papel Post- consumo, Silicato de Sodio, Acido Bórico.

CONTENIDO

Hoy en día, el reciclaje, es el camino que nos conduce al aprovechamiento de la energía y a la conservación del ambiente; esto conducirá a que la industria del papel deje de ser una de las más contaminantes del mundo y se convierta en un modelo ecológico y una alternativa viable para evitar la contaminación.

El proyecto se hizo con el objetivo de obtener un aislante térmico a partir de Papel Post-consumo, Acido Bórico y Silicato de Sodio. Inicialmente se hicieron muestras o probetas utilizando solución saturada de Acido Bórico. Adicional a esto, se repitió el proceso utilizando acido bórico en polvo, sometiendo las muestras a procesos de prensado, secado y pirolisis para luego ser caracterizadas, determinándoles tanto propiedades físicas como químicas, obtenidas a partir de diferentes ensayos como permeabilidad, resistencia al ataque químico, resistencia a agentes atmosféricos, determinación de la densidad, test de llama y otras pruebas cualitativas de solo observación por medio de las cuales se evidenciaron ciertas características propias de los materiales aislantes térmicos como: porosidad, buena resistencia mecánica y geometría uniforme.

Al finalizar la etapa de experimentación y caracterización se analizaron los datos llegando a resultados interesantes según lo obtenido. El material presento una porosidad uniforme, densidad baja e ignifugo, esta ultima demostrada en el test de llama. Se pudo corroborar la efectividad de los reactivos utilizados para mantener el material estable frente altas temperaturas así como se hizo indispensable utilizar láminas de papel post consumo como matriz. A pesar de los buenos resultados se hace necesario ampliar y profundizar en el tema para optimizar el proceso de obtención y caracterización.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química. Director. José Carlos Gutiérrez Gallego

ABSTRACT

TITLE: PRODUCTION OF A HEAT INSULATING with flame retardant, FROM POST CONSUMER PAPER*.

AUTHORS: Sandra Ariza Mateus. Cristian Fernando Pinzón Bautista**.

KEY WORDS: Recycle, Thermal insulation, fireproofing, Post-consumer paper, sodium silicate, boric acid.

CONTENT

Today, recycling is the path that leads to energy efficiency and conservation; this will lead to the paper industry is no longer one of the worst polluters in the world and become an ecological model and a viable alternative to avoid contamination.

The project was done with the aim of obtaining a thermal insulator from Post-consumer paper, boric acid and sodium silicate. Initially samples or specimens were made using saturated boric acid solution. In addition to this, we repeated the process using boric acid powder, subjecting the samples to the processes of pressing, drying and pyrolysis and then be characterized, determining both the physical and chemical properties, obtained from various tests such as permeability, resistance to chemical attack , resistance to atmospheric agents, determination of density, flame test and other tests only qualitative observations by means of which showed some characteristics of thermal insulation materials such as porosity, good mechanical strength and uniform geometry.

At the end of the stage of experimentation and characterization data were analyzed reaching interesting results as obtained. The material has a uniform porosity, low density and fireproof, the latter shown in the flame test. It is possible to confirm the effectiveness of the reagents used to keep the material stable against high temperatures and it was essential to use post-consumer paper sheets as the matrix. Despite the good results it is necessary to broaden and deepen in the field to optimize the preparation and characterization

* Project of grade

** Physicochemical Faculty of Engineering, School of Chemical Engineering. Director José Carlos Gutiérrez Gallego

INTRODUCCIÓN

En la actualidad surge la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas que permitan la utilización de elementos desechados en procesos productivos, para de esta forma poder aprovechar su potencial y contribuir a la disminución del impacto ambiental que puedan generar por una inadecuada disposición.

El papel se puede reutilizar en un 100% y de esta forma evitar infinidad de daños ecológicos, pues su ciclo útil es uno de los responsables de la degradación del medio ambiente. Por esta razón, reciclar se convierte en una de las alternativas para reducir el impacto que genera todo lo q implica su proceso de producción, desde la tala de árboles pasando por la industria papelera y llegando hasta la disposición final.

La elaboración de un aislante térmico a partir de papel post consumo, como en el caso usando papel periódico, junto con ácido bórico y silicato de sodio, es un nuevo camino que nos ayuda a minimizar este impacto y genera un nuevo método para reciclar el papel.

Este nuevo material se pretende utilizar como un aislante térmico con propiedades ignífugas para reducir transferencia de calor desde y hacia el ambiente, reducir gastos económicos y proteger el medio ambiente. Este estudio busca mostrar los resultados obtenidos de la elaboración, observación y medición de las propiedades ignífugas de probetas elaboradas a partir de papel periódico, Acido bórico y silicato de sodio.

En tal sentido, esta investigación puede llegar a significar un crecimiento no sólo tecnológico sino económico ante la demanda generada en mano de obra, tanto especializada como no calificada, para el desarrollo de tecnologías propias.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. AISLAMIENTO TÉRMICO

Los materiales aislantes térmicos son aquellos que dificultan la transmisión del calor. Con el uso de estos materiales se consigue disminuir notablemente el paso de calor en los cerramientos en los que se coloca. Todo material aislante debe cumplir ciertos requisitos tales como características dimensionales, densidad, propiedades de transferencia de calor, análisis químicos, resistencia al fuego, absorción de agua.

Tabla 1. Funciones, características y ejemplos de aislantes térmicos.

FUNCIONES	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
<ul style="list-style-type: none">• Economizar energía• Reducir la pérdida en los envolventes• Mejorar el confort térmico• Mejorar la eficiencia térmica en los envolventes	<ul style="list-style-type: none">• Porosos (celdas con aire o algún gas seco encapsulado en su interior, en estado inerte o quieto).• Posee baja capacidad de conductividad.• Alta reflectividad.• Impermeable al vapor de agua.• Materiales blancos y brillantes.	<ul style="list-style-type: none">• Corcho aglomerado.• Espuma de poliuretano.• Poliéster expandido.• Lana de vidrio.• Vermiculita.• Arcilla expandida.• Piedra pómez.• Fibras vegetales de madera, de eucalipto, aglomerado, fibras de caña, de paja, de amianto.

Fuente: Los autores del proyecto.

1.2. PAPEL POST CONSUMO

En los últimos años y gracias especialmente a las campañas de educación ambiental y a la colocación de contenedores de recogida selectiva, las tasas de reciclaje y recuperación de papel se han disparado . Una innovación importante por el lado de la cadena productiva es el uso creciente de materia prima 100% reciclada, en un proceso que solo requiere el 10% del agua y el 55% de la energía que se utilizan para la obtención de papel a partir de pulpa virgen. Esto ha generado un sub-mercado del reciclaje que mueve más de \$80.000 millones al año y la creación de varias empresas que se han dedicado a este proceso. En promedio, Colombia consume 1,1 millones de toneladas de papel al año, de las cuales el 63% se abastece con la producción nacional.

1.3. SILICATO DE SODIO

El silicato de sodio (Na_2SiO_3) también conocido como vidrio soluble, es una sustancia inorgánica, que se encuentra en soluciones acuosas y también en forma sólida en muchos compuestos. Tienen muchas propiedades útiles que no comparten otras sales alcalinas, son de bajo costo y tienen un amplio campo de uso en diferentes industrias, como adhesivos, cementos, capas protectoras, ayuda coagulante, anticorrosivos.

1.4. ÁCIDO BORICO

El ácido bórico (H_3BO_3), es un ácido inorgánico utilizado en la metalurgia como agente desgasificante, recubrimientos de protección ante el fuego, preservante y antiséptico. Se utiliza en la fabricación de vidrio, esmaltes, en la industria cerámica, cosméticos, cemento, porcelana, para impregnar mechas y endurecer aceros.

1.5. TRATAMIENTO TÉRMICO O PIRÓLISIS

Cuando en una incineradora se reduce el nivel de oxígeno por debajo del óptimo para la combustión, se dice que la planta funciona “con aire controlado” o en “modo pirolítico”. La pirólisis se lleva a cabo habitualmente a temperaturas de entre 400 °C y 800 °C. A estas temperaturas los residuos se transforman en gases, líquidos y cenizas sólidas denominadas “coque” de pirólisis.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del aglomerado se utilizaron los siguientes materiales: papel post consumo, ácido bórico (H_3BO_3) y silicato de sodio (Na_2SO_3). Las probetas serán de tipo I y tipo II, de las cuales las tipo I son hechas con ácido bórico en solución saturada y las tipo II con ácido bórico en polvo.

➔Papel post consumo:

La función en el proceso es constituir el material matriz.

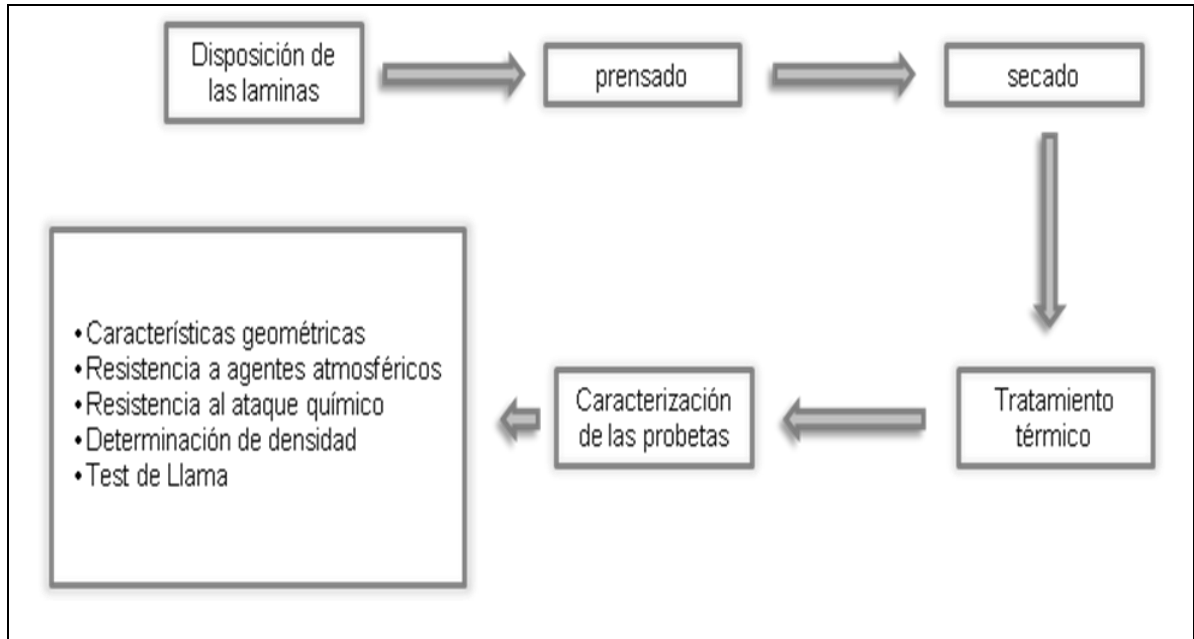
➔Silicato de sodio:

La función en el proceso es constituir un agente térmico, que le dé al material resistencia cuando se exponga a altas temperaturas.

➔Acido bórico:

Su función es actuar como fundente y agente retardante, lo que le proporcionara al material consistencia en el tratamiento térmico y buenas características ignifugas y aislantes.

Figuras 1. Diagrama de elaboración del material



Fuente: Los autores del proyecto.

2.1. DISPOSICIÓN DE LAS LÁMINAS

Para la elaboración del material se utilizaron láminas de papel post consumo de 8.5*7.5 cm. En este paso se arman las probetas, disponiéndolas alternadamente, una con solución de ácido bórico saturada y la siguiente con silicato de sodio, hasta un espesor determinado. Para las probetas tipo II el procedimiento fue el mismo excepto en el ácido bórico, el cual se utilizó en polvo, agregándolo en toda la superficie de la lámina la cual estaba impregnada con silicato de sodio y eliminando el sobrante de ácido bórico.

2.2. PRENSADO

Del paso anterior las probetas se someten a un proceso de prensado, Para esto se dispuso de la prensa hidráulica marca CARVER aplicando una fuerza de 2 toneladas, con el objetivo de disminuir la cantidad de líquidos sobrantes en la

muestra y permitir una mayor compactación del material, esta eliminación de líquidos sobrantes reducía el tiempo de secado lo que indica un ahorro de energía significativo. El exceso en la presión causaba una ruptura en la muestra, como se puede ver en las probetas 9, 19, 21 y 22 en las cuales la presión fue de 2.5 a 3 toneladas métricas.

2.3. SECADO

Posteriormente las probetas se disponen en un horno a una temperatura de 30 grados centígrados hasta que la humedad sea eliminada casi en su totalidad. Luego de sacarlas del horno se depositan en un desecador y se dejan reposando llevando un control diario del peso de las muestras hasta que se estabilicen. Hay que tener en cuidado en la temperatura y velocidad de secado ya que un exceso en la velocidad o una alta temperatura de secado hace que las muestras presenten una separación de sus capas, lo que deforma el material.

2.4. TRATAMIENTO TÉRMICO

Para el tratamiento térmico se tuvo en cuenta la forma de elaboración del material y temperatura optima requerida para que las características del material sean las mejores. De acuerdo con la anterior se tomaron diferentes temperaturas hasta determinar cuál era la más apropiada para las muestras con acido bórico en solución saturada y para las muestras con acido bórico en polvo. También se tuvo en cuenta el tiempo en el cual se desarrollaba el proceso, la velocidad de ascenso de la temperatura fue controlada ya que hasta cierta temperatura se eliminaban las capas las laminillas de papel y los demás componentes comenzaban a fundirse y formar la capa vítrea necesaria para la obtención del material.

2.5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS

2.5.1. Características geométricas

Prueba realizada en el Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS. Se procedió a tomar las medidas de longitud y espesor con ayuda de un calibrador o pie de rey. Para ello se escogió una muestra del tipo II que se encontraba en óptimas condiciones y dos muestras tipo I.

2.5.2. Resistencia a agentes atmosféricos

Prueba realizada en el Laboratorio de Química Industrial de la UIS con las muestras pirolizadas. Las muestras fueron expuestas al medio ambiente, para observar la higroscopicidad, propiedad que influye en gran medida en el peso, además depende de la temperatura a la que se realiza el ensayo, en este caso a temperatura ambiente, en el día a $28^{\circ}\text{C} \pm 2$ y en la noche a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ y del grado de humedad del medio ambiente, en este caso la ciudad de Bucaramanga presenta una humedad aproximada de $80\% \pm 10$.

Dicho seguimiento se llevó a cabo durante un lapso de 8 semanas, haciendo un sondeo por semana.

2.5.3. Resistencia al ataque químico

Prueba realizada en el Laboratorio de Química Industrial de la UIS. El agente químico escogido para la prueba fue; soluciones diluidas de Ácido sulfúrico al 10%p/p y al 20%p/p. Se tomaron 50ml de cada solución, se sumergieron las

muestras pirolizadas en cada una de las soluciones mencionadas, el ensayo se realizó a temperatura ambiente, en el día a $28^{\circ}\text{C} \pm 2$ y en la noche a $22^{\circ}\text{C} \pm 2$ y presión atmosférica. Se hizo un seguimiento durante 15 días para observar los cambios de cada una de las muestras, haciendo sondeos diarios.

2.5.4. Determinación de densidad

Prueba realizada en el Laboratorio de Química Industrial de la UIS. Se determinó la densidad de la muestra. Para determinar la densidad de la muestra pirolizada, se usó como objeto de experimentación la muestra B. El principio básico de obtención de esta variable, fue conocer la masa de la muestra y el volumen que éste se desplaza cuando se sumerge en 20 ml de Varsol. Este solvente fue escogido luego de observar que la muestra pirolizada no absorbía el Varsol debido a las propiedades vítreas que ésta presenta.

2.6. Test de Llama

Prueba realizada en el Laboratorio de Procesos de la Escuela de Ingeniería Química de la UIS, con la muestra B tipo II. La muestra se expuso a la llama del mechero que utiliza como combustible gas natural y se observó la velocidad de combustión, la formación de la llama y tiempo de auto extinción. Para este procedimiento se conto con un soporte universal en el cual se dispuso una termocupla para llevar un control de la temperatura, también se conto con un termómetro para medir el tiempo, dejando la muestra expuesta media hora a llama directa, tiempo en el cual se estimo la acción de los bomberos para actuar frente a un incendio. La temperatura de la llama a la que se expuso la muestra fue de 211 grados centígrados.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS PIROLIZADAS

Para la realización del tratamiento térmico se utilizaron las muestras tipo I y tipo II con mejor contextura y de mayor compactación. Para dicho tratamiento se tuvo en cuenta que en el proceso de horneado las probetas no perdieran su disposición inicial y sus laminas conservaran la forma geométrica dada en el prensado (ver Anexos A. fotos 1). Durante el tratamiento térmico se observaron puntos importantes como lo fue temperaturas de 190 hasta 293 grados centígrados, intervalo en el cual la formación de humo en la mufla, evidencia de gases, debido a la degradación de material orgánico en las probetas se hacía visible, pero al transcurrir más o menos los 9 minutos y acercarse la temperatura a los 293 grados centígrados el humo disminuye considerablemente hasta extinguirse. Pero el tiempo cambio debido a que el tratamiento requería de velocidades bajas en el ascenso de la temperatura para evitar la deformación del material debido a la exposición brusca a altas temperaturas, quedando el tiempo estipulado para subir las muestras según el tipo hasta 293 grados centígrados como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados muestras pirolizadas.

TIPO MUESTRA	TEMPERATURA. [°C], ± 2	TIEMPO. [minutos]
I	293	45
II	293	70

Fuente: Los autores del proyecto

3.1.1. Características geométricas

Al revisar las probetas después del proceso térmico, se puede notar una considerable disminución en el volumen, esto se corrobora como se puede ver en la tabla 3, donde se hace una comparación entre las muestras antes y después del tratamiento térmico. Dicha tabla deja entrever que en el proceso de pirolisis, donde se destruye la materia orgánica y se liberan otras sustancias en forma de gases, la muestra sufre una transformación en su tamaño. La probeta reemplaza las láminas de papel e internamente forma poros (ver Anexo, foto 2), característica importante para un buen aislante térmico.

Tabla 3. Comparación entre las muestras después del tratamiento térmico.

PESO ANTES DE LA PIROLISIS	PESO DESPUÉS DE LA PIROLISIS
38 gramos	10,9 gramos
42,2 gramos	11,2 gramos
37,1 gramos	10,7 gramos

Fuente: Los autores del proyecto.

3.1.2. Determinación de densidad

En la determinación de la densidad del material se utilizó varsol ya que en este solvente la probeta por poseer propiedades vítreas no lo absorbe y por lo tanto la medición es más exacta. No se utilizó agua por que al entrar la probeta en contacto con esta, el material la absorbe lo que dificulta la medición y lo hace inexacto. En esta etapa se midió la densidad aparente tomando como parámetros el volumen y masa de la probeta, la densidad real utilizando el principio de Arquímedes con el volumen desplazado (ver Anexos, foto 3.) y la masa estudiada. Los resultados se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4. Determinación de la densidad de las probetas.

PARAMETROS		DENSIDAD APARENTE	DENSIDAD REAL
MASA	VOLUMEN		
11.1 gramos	55.81 cm ³	0.20 [g/cm ³]	
1.54 gramos	3 [ml]		0.52 [g/ml]

Fuente: Los autores del proyecto.

De la determinación de este parámetro se puede ver que el material es útil para recubrimientos en los cuales se necesite volumen y bajo peso ya que su masa se reduce alrededor del 70%.

3.1.3. Resistencia a agentes atmosféricos

La fase vítrea que conforma el material evita que este sea atacado por agentes atmosféricos, no retiene humedad del medio y por lo tanto no hay una formación de origen biológico en el. Lo anterior se cumple siempre que el tratamiento térmico sea el adecuado y la temperatura sea la optima ya que para la muestra B del tipo II se tomo una temperatura experimental por debajo de la optima, formando una capa pegajosa y oscura en la superficie (ver Anexos, foto 4) adquiriendo humedad disolviendo el silicato y el acido bórico que no se fundió, razón por la cual la probeta mostro un notable deterioro y debilidad ante los agentes atmosféricos presentes.

3.1.4. Resistencia al ataque químico

Según el seguimiento hecho a las muestras dejadas en contacto con solución de acido sulfúrico al 10 y 20% P/P, se pudo comprobar que el material desarrollado es totalmente resistente a la acción del reactivo. La muestra no presento deterioro ni formación de partículas visibles, la solución se conservo incolora como es su naturaleza. (Ver Anexos, foto 5).

3.1.5. Test de Llama

El material expuesto a la acción de la llama directa por un tiempo de 34 minutos y una temperatura constante de 211 grados centígrados, no formo llama ni se consumió durante el tiempo estipulado, dicho lo anterior cabe resaltar que el material posee buenas características ignifugas. Durante el procedimiento se formo una gota en la superficie expuesta, pero permaneció adherida, por lo tanto no hubo goteo ni desprendimiento de la muestra. El color de la llama es característico de productos a base de silicio. Los datos de la prueba se resumen en la tabla 5.

Tabla 5. Resultados test de llama.

TIPO DE MATERIAL	TIEMPO DE PRUEBA	INTERVALO DE TEMPERATURA	OBSERVACIONES
MUESTRA C TIPO II	34 minutos	138 – 150 °C	Al retirar la muestra de la llama se comprobó la ausencia de esta.

Fuente: Los autores del proyecto.

Se reporta un intervalo de temperatura debido a que la prueba se realizó manual, razón por la cual la temperatura variaba de acuerdo a la posición de la muestra respecto a la llama y la termocupla. Tal como se presenta (ver anexos, foto 6), se puede ver que la superficie superior de la muestra no presenta ninguna transformación y la temperatura fue menor a la suministrada por el mechero. Estas observaciones y la forma en que se transmite el calor el cual es por convección entre las paredes internas del poro y por conducción entre las paredes externas del poro, lo que da como resultado la obtención de un material con buenas características de aislamiento térmico.

3.2. OTRAS CONSIDERACIONES OBSERVADAS

Durante el desarrollo de la experimentación en la obtención del material se encontraron características que en el planteamiento inicial no se esperaban o se ignoraban completamente.

Una característica que se pudo observar durante la experimentación fue que la dilatación del material por la acción del calor fue menor apreciativamente comparada con la dilatación que sufrió el latón de aluminio, el cual sirvió como soporte durante el tratamiento térmico, esto se evidencio gracias a que al salir la muestra de la mufla y dejarla enfriar el material se fracturo en dos zonas; una inferior que se adhirió al material y una superior que se pudo retirar y contenía mayor espesor. (Ver anexos, foto 7).

Al utilizar papel post consumo para la elaboración de las muestras se asegura la formación de poros característicos de los aislantes térmicos y a su vez le da la estructura física, propiedades que no se evidenciaron al utilizar los dos reactivos sin el papel. (Ver anexos, foto 8).

3.3. VIABILIDAD ECONOMICA DEL AISLANTE TERMICO OBTENIDO

El costo que implica la elaboración del material es mínimo ya que para su elaboración la materia prima principal es el papel post consumo, el cual su valor en el comercio está alrededor de los 8000 pesos la arroba, el acido bórico y el silicato de sodio son reactivos de fácil acceso y su costo es relativamente bajo, además su consumo en el proceso es mínimo. Como se puede ver el material elaborado lleva un gasto bajo en materias primas pero también en la parte energética.

El impacto en la parte económica también se puede ver como la cantidad de papel residual que ya no iría a ocupar espacio en los rellenos sanitarios si no que por el contrario prestaría un servicio con un no despreciable valor agregado.

En la industria de hoy se utilizan cantidades de aislante térmico los cuales no son amigables con el medio ambiente y los que sí lo son tienen un costo en el mercado relativamente alto, con esto se quiere expresar la necesidad que se tiene de un material con buenas características como aislante, económico y favorable con el ambiente, propiedades con las cuales cuenta el material elaborado en esta tesis.

3.4. APORTE SOCIAL, AMBIENTAL, ECONÓMICO Y TECNOLÓGICO

3.4.1. Aporte social

La elaboración de este material a nivel industrial generaría un alto impacto social teniendo en cuenta el empleo generado directo e indirecto, ya que la planta contaría con sus trabajadores internos, pero como bien se sabe el proceso de reciclar es en su totalidad informal.

Se sembraría una cultura de pensamiento verde en la que el reciclaje se vea no como una cuestión netamente ambiental si no que se le vea la utilidad que prestan y la remuneración que al hacerlo se puede llegar a obtener.

3.4.2. Aporte ambiental

Como se sabe los aislantes térmicos utilizados en su mayoría tienen un impacto negativo con el medio ambiente. Con este material se pretende la sustitución de materiales como la espuma de polietileno y el poliestireno entre otros, evitando contaminación en el momento de producción y en una posible combustión ya que producen gases tóxicos.

El aprovechamiento del papel post consumo reduce el volumen de residuos depositados en los rellenos sanitarios, lo que amplía la vida útil de estos.

El sector industrial utiliza en Colombia alrededor de 1,1 millones de toneladas anuales de materia prima, de los cuales 500 mil son procedentes de papel reciclado, lo que quiere decir que para la elaboración del nuevo material se podría aprovechar las 600 mil adicionales que no se está reciclando.

El material no representa un impacto ambiental negativo y su elaboración y el agua utilizada y posible contaminación es baja.

3.4.3. Aporte económico

La elaboración de este tipo de aislantes no requiere una gran inyección de dinero ya que su materia prima principal es el papel post consumo y como se dijo anteriormente su costo es bajo.

La elaboración de este material llevara a bajar la producción de otro tipos de materiales aislantes demandantes de altas cantidades de agua y de energía lo cual aumenta los costos de producción. Esto unido al costo de las materias primas le da la ventaja para ser producido con una alta efectividad como aislante y buen beneficio económico.

3.4.4. Aporte tecnológico

El desarrollo de un material multifuncional aislante térmico con propiedades ignifugas útil para recubrimientos de tuberías, para sistemas de refrigeración, en el transporte de sustancias que necesiten estar refrigeradas, como recubrimientos en las construcciones civiles y cualquier pieza que quiera ser aislada o conservada ante la acción de las llamas.

El desarrollo del material trae a la sociedad beneficios económicos y ayuda a la investigación de nuevas tecnologías y propias del material buscando la optimización y la máxima funcionalidad de éste. Lo anterior lleva al beneficio

económico ya que genera empleos con mano de obra especializada y no especializada.

4. CONCLUSIONES

El material presento baja densidad lo que demuestra una gran utilidad por su bajo peso y alto volumen, debido a que durante el proceso se pierden material solido como las laminas de papel y el agua presente en las muestras.

El material presento alta porosidad, una de las características más importantes en los aislantes térmicos. Ésta porosidad se debe a la presencia de las laminas de papel que en el tratamiento térmico se consume dejando dichos poros y dándole la geometría característica.

Durante la parte experimental se encontró que la velocidad de secado y la temperatura son determinantes en las características geométricas y en la formación de los poros en el material, un secado acelerado deforma el material y la uniformidad en la porosidad es menor.

El material es totalmente resistente al ataque químico como al ataque del medio ambiente debido a la formación de una fase vítrea que le otorga características en su forma física como en su estructura química, tampoco se noto la formación de microorganismos que deterioraran el material.

Las muestras tipo II demostraron un mejor comportamiento y resistencia durante el proceso de elaboración y en el momento de ser sometida a las diferentes caracterizaciones, una estructura física mas solida, menos frágil y con una disposición mayor de poros.

En la caracterización del material en la prueba de llama se pudo notar al final de la prueba que este perdía parte de sus características mecánicas ya que se rompió con gran facilidad, esto debido al tiempo y la temperatura a la cual fue expuesto.

El material presento una capacidad de adherencia a diferentes superficies durante el tratamiento térmico lo que facilita su utilización y amplia la gama de utilidades

que pueda prestar, aunque se debe tener en cuenta su baja dilatación y así evitar el colapso del material al ser sometido a variaciones en la temperatura.

Al no utilizar las laminas de papel como soporte de las probetas el material obtenido no hubiera poseído una forma geométrica uniforme y tampoco se hubiera presentado la porosidad.

El material desarrollado posee características muy interesantes sustentadas en esta tesis, que le dan el titulo de un buen material aislante térmico e ignifugo, esta ultima propiedad otorgada por la utilización de acido bórico, un reactivo conocido por sus propiedades como retardante ante la exposición a llama directa.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANÓNIMO. Estadísticas del reciclaje en Colombia. <<http://ciudadverdeluisa.blogspot.com/2010/04/estadisticas-del-reciclaje-en-colombia.html>>
- [2] CRISTINA M. Síntesis de polímeros organoborados retardantes a la llama. Moreno, Tarragona, Octubre de 2005.
- [3] Frydrych, I. Dziworska, G. Bilska J. Comparative Analysis of the Thermal Insulation Properties of Fabrics Made of Natural and Man-Made Cellulose Fibre. Institute of Textile Architecture.
- [4] K. T. Yucel, C. Basyigit, C. Ozel. Thermal insulation properties of expanded polystyrene as construction and insulating materials.
- [5] SERRANO C, José L. Maestría en ciencias de la ingeniería, mención aeroespacial, mecánica de los materiales avanzada, materiales cerámicos y vidrios. Septiembre de 2002.
- [6] PACHECO V, Miguel V. DEL REAL, Néstor R. Obtención de aislantes térmicos a partir de bagazo de caña, cuesco y/o envoltura de cocotero. Tesis (pregrado). Tesis - uis. Escuela de ingeniería química, 1979.
- [7] ANONIMO. Recubrimientos y aislantes termicos, s.a. Fabricante de Aislantes Termo acústicos y Fibras Minerales pdf. Los aislantes térmicos (aislamientos térmicos) en la industria. Enero de 2011.
- [8] VALERO, Pilar. Arquitecta. Aislando bien nuestra casa. <http://www.ecohabitar.org/PDF/comp_aislantes.pdf>

ANEXOS

Anexo A. PRENSADO DEL MATERIAL INICIAL.

Foto 1. Muestras prensadas



Fuente: Los autores del proyecto

CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL

Anexo B. Porosidad del material

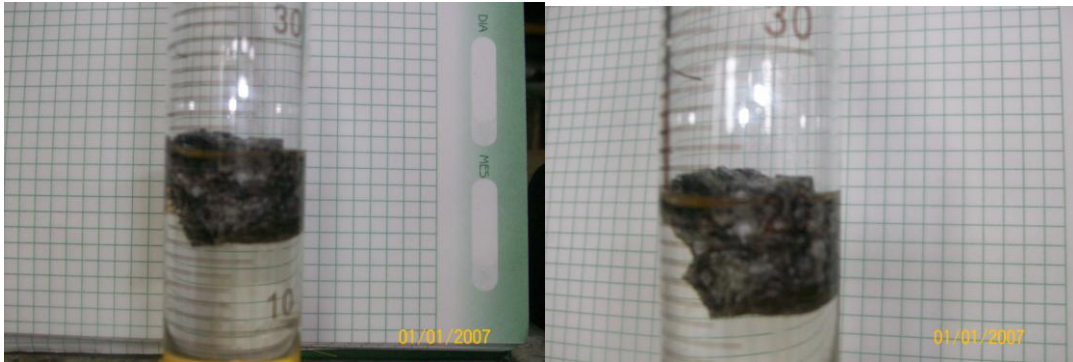
Foto 2. Poros presentes en el material.



Fuente: Los autores del proyecto

ANEXO C. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.

Foto 3. Fotos densidad del material



Fuente: Los autores del proyecto

ANEXO D. ATAQUE DEL AMBIENTE AL MATERIAL.

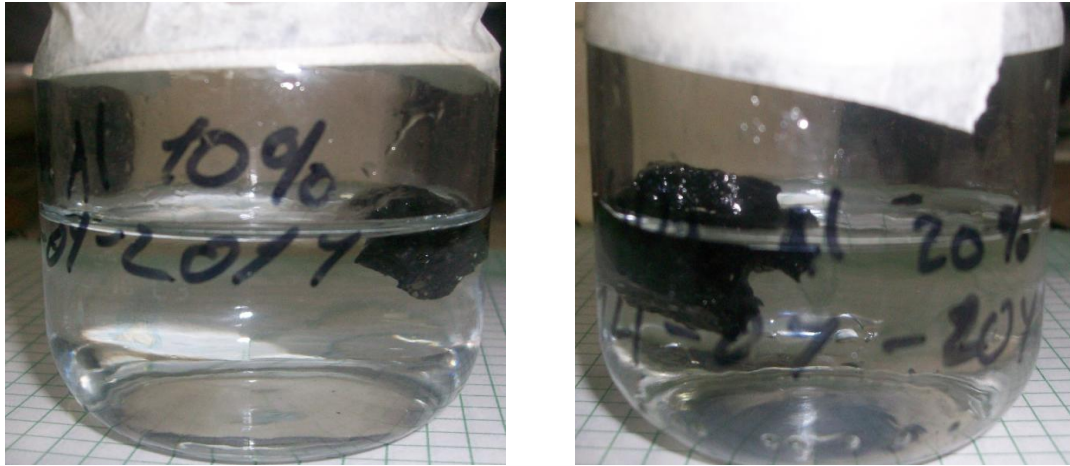
Foto 4. Fotos de la capa pegajosa de la muestra tipo II



Fuente: Los autores del proyecto

ANEXO E. ATAQUE QUÍMICO.

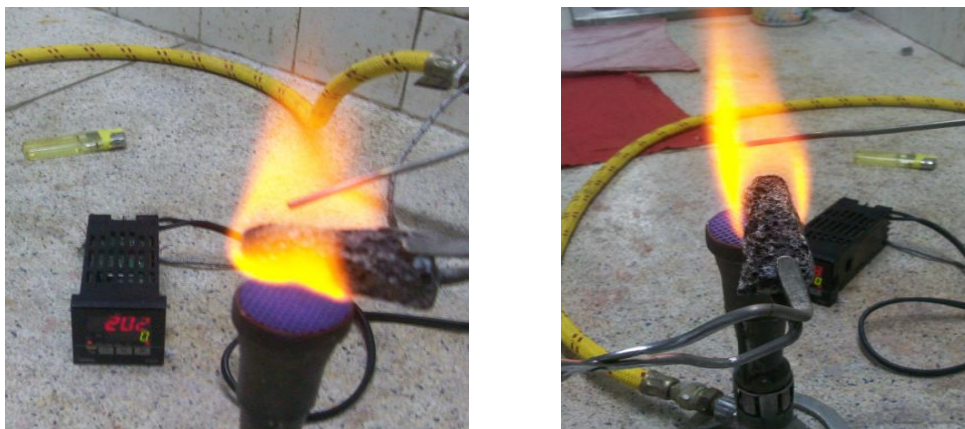
Foto 5. Resistencia al ataque químico.



Fuente: Los autores del proyecto

ANEXO F. TEST DE LLAMA

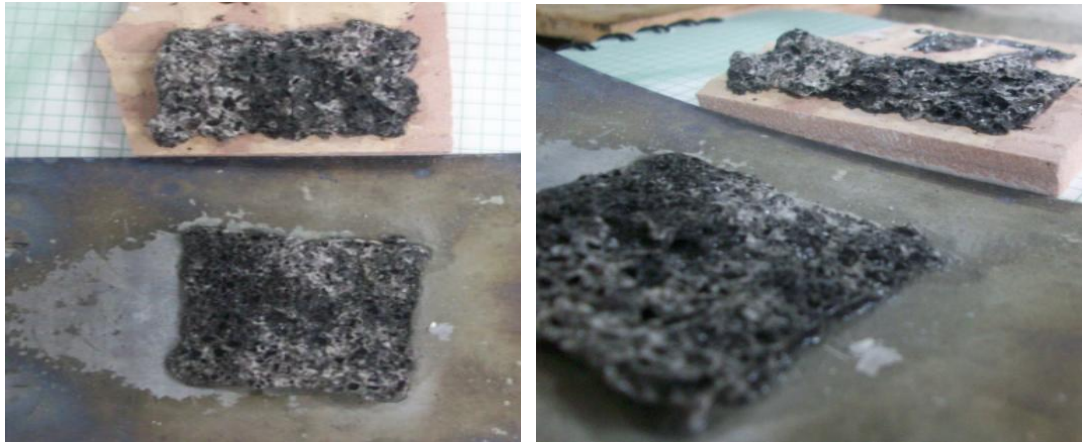
Foto 6. Comportamiento del material frente a la llama directa.



Fuente: Los autores del proyecto

ANEXO G. DILATACIÓN Y CAPACIDAD DE ADHERENCIA DEL MATERIAL.

Foto 7. Adherencia del material a varias superficies



Fuente: Los autores del proyecto

ANEXO H. NECESIDAD DEL PAPEL POST CONSUMO

Foto 8. Comportamiento del ácido bórico con silicato de sodio



Fuente: Los autores del proyecto