



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO
TEXTIL**

**“ACABADO IGNÍFUGO A BASE DE VERMICULITA EXPANDIDA
MEDIANTE EL MÉTODO DE RECUBRIMIENTO SOBRE UN TEJIDO DE
PUNTO POR URDIMBRE PES 100% PARA EVALUAR EL GRADO DE
PROPAGACIÓN A LA LLAMA”**

AUTOR:

ROBERTO CARLOS BARRERA GUERRERO

TUTOR DE TESIS:

MSC. WILLAM RICARDO ESPARZA ENCALADA

IBARRA – ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En el cumplimiento de Art. 144 de la Ley Superior de Educación, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para cual pongo a su disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100298065-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Roberto Carlos Barrera Guerrero		
DIRECCIÓN:	Cotacachi, calle bolívar y 9 de octubre		
EMAIL:	rcbarrerag@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 916 302	TELÉFONO MÓVIL:	0982540646
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“Acabado ignífugo a base de vermiculita expandida mediante el método de recubrimiento sobre un tejido de punto por urdimbre pes 100% para evaluar el grado de propagación a la llama”		
AUTOR (ES):	Roberto Carlos Barrera Guerrero		
FECHA:	10/07/2023		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TÍTULO POR EN EL OPTA:	Ingeniería Textil		
ASESOR/DIRECTOR:	MSc. Willam Ricardo Esparza Encalada		

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que, la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de esta, y saldrá en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de julio del 2023

Autor:



BARRERA GUERRERO ROBERTO CARLOS

C.I.: 100298065-2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DE ASESOR

En mi calidad de director de Trabajo de Grado presentado por el egresado **Roberto Carlos Barrera Guerrero**, para optar por el título de INGENIERO TEXTIL, cuyo tema es **“Acabado ignífugo a base de vermiculita expandida mediante el método de recubrimiento sobre un tejido de punto por urdimbre pes 100% para evaluar el grado de propagación a la llama”**, considero que el presente trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los opositores que se designe.

Ibarra, a los 10 días del mes de julio del 2023



WILLAM RICARDO
ESPARZA ENCALADA

MSC. WILLAM RICARDO ESPARZA ENCALADA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado especialmente a mi madre Esperanza Guerrero quien ha sido la única persona que nunca me ha dado la espalda y siempre me ha apoyado a pesar de los errores y tropiezos, quien me ha enseñado a nunca rendirme, no mirar atrás y seguir adelante sin importar los obstáculos.

Roberto Barrera

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi madre por su apoyo, la confianza y la motivación que me mantuvo firme en este proceso.

De igual manera expresar mi gratitud a todos los docentes de la Carrera de Textiles por compartir sus conocimientos y brindar sus enseñanzas a lo largo de mi formación académica. A los docentes que me brindaron su tiempo y consejos durante este trabajo, ya que gracias a su aporte y motivación esta investigación siguió en pie y fue posible conseguir los resultados deseados.

Finalmente, y no menos importante agradecer a mi tutor MSc. Willam Esparza por la asesoría brindada y la motivación que me mantuvo firme para culminar este trabajo.

Roberto Barrera

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del tema.....	1
1.2. Problema.....	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Alcance	2
1.4.1. Descripción del lugar de la investigación	2
CAPÍTULO II.....	4
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1. Estudios previos	4
2.1.1. Vermiculita expandida	4
2.1.2. Textiles ignífugos	7
2.1.3. Proceso de combustión	8
2.1.4. Retardantes a la flama	9
2.1.5. Recubrimientos	11
2.2. Marco Conceptual.....	11
2.2.1. Vermiculita.....	11
2.2.2. Vermiculita expandida	12

2.2.3.	Acabados textiles	13
2.2.4.	Tejido de punto por urdimbre.....	14
CAPÍTULO III		15
3.	METODOLOGÍA.....	15
3.1.	Métodos.....	15
3.1.1.	Enfoque de investigación	15
3.1.2.	Método de investigación.....	15
3.1.3.	Técnica de investigación.....	16
3.2.	Normas por utilizar	16
3.2.1.	Norma de ensayo al fuego	16
3.2.2.	Norma de solidez al lavado	16
3.3.	Flujogramas.....	16
3.3.1.	Flujograma de proceso general	16
3.3.2.	Flujograma muestral.....	17
3.4.	Materiales y equipos	18
3.4.1.	Materiales	19
3.4.2.	Equipos	19
3.4.3.	Materia prima y auxiliares	20
3.5.	Diseño experimental	22
3.5.1.	Análisis muestral	22
3.5.2.	VARIABLES Y FORMULACIÓN.....	23
3.5.3.	Preparación de la pasta.....	24
3.6.	Recubrimiento ignífugo.....	25
3.7.	Pruebas de laboratorio	25
3.7.1.	Ensayos al fuego.....	25
3.7.2.	Pruebas de solidez al lavado	26
CAPÍTULO IV.....		28

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	28
4.1. Resultados	28
4.1.1. Recubrimiento ignífugo	28
4.1.2. Pruebas de laboratorio	30
4.2. Análisis y discusión de resultados	37
CAPÍTULO V	43
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones	43
5.2. Recomendaciones	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
ANEXOS	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista satelital de la planta académica textil, ubicación de los laboratorios de calidad textil	3
Figura 2. Estructura de la vermiculita	5
Figura 3. Ciclo de combustión de un material textil	9
Figura 4. Mineral vermiculita.....	12
Figura 5. Flujograma de proceso	17
Figura 6. Flujograma muestral	18
Figura 7. Preparación de la pasta.....	24
Figura 8. Test de normalidad.....	37
Figura 9. Estadísticas univariantes	38
Figura 10. Tendencia de los datos de las muestras.....	40
Figura 11. Gráfico Matrix Plot	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Composición Química de la Vermiculita</i>	6
Tabla 2. <i>Equipos</i>	19
Tabla 3. <i>Productos</i>	20
Tabla 4. <i>Normas para la caracterización</i>	21
Tabla 5. <i>Datos generales de la muestra</i>	21
Tabla 6. <i>Análisis muestral</i>	22
Tabla 7. <i>Formulaciones para el apresto</i>	23
Tabla 8. <i>Datos de la prueba de solidez al lavado</i>	26
Tabla 9. <i>Resultados muestra 0, sin recubrimiento</i>	31
Tabla 10. <i>Resultados muestra 1, concentración alta de vermiculita</i>	32
Tabla 11. <i>Resultados muestra 2, concentración media de vermiculita</i>	33
Tabla 12. <i>Resultados muestra 3, concentración baja de vermiculita</i>	34
Tabla 13. <i>Resultados de las pruebas al fuego</i>	35
Tabla 14. <i>Resultados de las pruebas de solidez al lavado</i>	36

Tabla 15. <i>Promedio consolidado de los resultados obtenidos</i>	36
Tabla 16. <i>Promedio de los resultados para el análisis gráfico</i>	39
Tabla 17. <i>Condiciones para determinar los resultados</i>	39

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado de laboratorio	50
Anexo 2. Ficha vermiculita expandida	51
Anexo 3. Ficha técnica del apresto TEXBOND APL	52
Anexo 4. Ficha técnica del ligante NOVAPRINT FSH	53
Anexo 5. Estructura del tejido	54
Anexo 6. Materiales.....	54
Anexo 7. Preparación de materiales	54
Anexo 8. Aplicación del acabado ignífugo	55
Anexo 9. Preparación del equipo y ensayos al fuego	56
Anexo 10. Prueba de solidez al lavado.....	57

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es aplicar un acabado ignífugo a base de vermiculita expandida mediante el método de recubrimiento sobre un tejido de punto por urdimbre poliéster 100% para evaluar el grado de propagación a la llama, demostrando que un mineral puede funcionar como un producto que confiere propiedades a un tejido, en este caso la resistencia al fuego con la finalidad de emplear el acabado en tejidos de protección.

Para el desarrollo de esta investigación, se realizó la aplicación de vermiculita expandida recubriendo un tejido de punto por urdimbre en 3 concentraciones, alta, media y baja, iniciando por el 30%, 20% y 10% respectivamente en conjunto con un apresto y un ligante como auxiliares. Después de realizar el recubrimiento en la cantidad de muestras necesarias según la norma ISO 15025:2000, se procede con los ensayos al fuego en el Flexiburn con la finalidad de observar lo que sucede y registrar los datos de las pruebas, posteriormente se realizó las pruebas de solidez al lavado con otro grupo de muestras, pero estas pruebas no tuvieron buenos resultados y se descartaron.

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio fueron sometidos a un análisis estadístico mediante el programa PAST 4, en donde se obtuvieron los valores de $p > 0,05$, es decir, los datos son correctos ya que tienen una confiabilidad del 95%. Los gráficos obtenidos con base a los datos explican y detallan los parámetros que se analizaron en cada uno de estos, concluyendo que, la aplicación de vermiculita expandida funciona como un retardante al fuego en determinadas concentraciones, la muestra con el 30% de vermiculita fue la receta que presentó los mejores resultados en las pruebas, pero no se consiguió aplicar un acabado textil como tal, solo se logró un recubrimiento que brinda protección al tejido en una sola dirección.

Palabras clave: Acabados textiles, Acabado ignífugo, Vermiculita, Vermiculita expandida, Recubrimiento.



Abstract

This research aimed to apply a fireproof finish based on expanded vermiculite by means of the coating method on a 100% polyester warp-knitted fabric to evaluate the degree of flame propagation, demonstrating that a mineral can work as a product that confers properties to a fabric, in this case, fire resistance with the aim of using the finish in protective fabrics.

For the development of this research, the application of expanded vermiculite was carried out in 3 concentrations, high, medium, and low, starting with 30%, 20%, and 10% respectively; together with a sizing agent and a binder as auxiliaries to form a mixture. After coating the required number of samples according to ISO 15025:2000, the fire tests were done in Flexiburn in order to observe what happened and record the test data, the results of which were satisfactory. Subsequently, the wash fastness test was carried out with the other group of samples, but these tests did not have good results and were discarded.

The results obtained in the laboratory tests were subjected to a statistical analysis using the PAST 4 software, where the p-values > 0.05 were obtained, which meant that the data were correct as they had a reliability of 95%. The graphs obtained based on the data explain and detail the parameters that were analyzed in each one of them, concluding that the application of expanded vermiculite fulfilled the hypothesis of this research; it works as a fire retardant in certain concentrations, 30% vermiculite was the formula that presented the best results in the tests.

Keywords: textile finishes, fire retardant finish, vermiculite, expanded vermiculite, coating.

LUIS ALFONSO
 PASPUEZAN
 SOTO

Firmado digitalmente
 por LUIS ALFONSO
 PASPUEZAN SOTO
 Fecha: 2023.05.15
 09:59:29 -05'00'

Reviewed by:

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del tema

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad demostrar la propiedad termoaislante de la vermiculita expandida aplicando un acabado textil a base de este mineral sobre un tejido de punto por urdimbre poliéster 100% mediante el método de recubrimiento con el objetivo de brindar al sustrato la capacidad de resistencia al fuego, desarrollando varias muestras con diferentes concentraciones de vermiculita para realizar los respectivos ensayos al fuego en el equipo Flexiburn con el propósito de recolectar los datos que se obtengan de dichas pruebas y así realizar un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

1.2. Problema

En los centros de investigación de las industrias textiles cada vez se trata de innovar las características de sus productos, como mejorar la resistencia al fuego de un tejido, pero a la vez se hace uso de productos químicos sintéticos que facilitan este proceso, estos no son de origen natural y su uso puede generar un impacto en el ambiente al generar residuos tóxicos, además de que sus costos en algunos casos son muy elevados. Actualmente se busca productos de origen natural, un ejemplo puede ser la vermiculita, un mineral formado por silicatos de hierro y magnesio que se usa ampliamente en la industria de la construcción y en la agricultura debido a sus propiedades. Según Jiménez Madrid (2013) afirma que la vermiculita al ser calentada se expande y adquiere propiedades termoaislantes, a este producto se le conoce como vermiculita expandida, además es un material inerte y no tóxico.

Cabe mencionar que no existen estudios que sustenten que este mineral haya sido utilizado en textiles y debido a las propiedades que posee se puede aprovechar para realizar un acabado ignífugo sobre una tela.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Realizar un acabado ignífugo a base de vermiculita expandida mediante el método de recubrimiento sobre un tejido de punto por urdimbre PES 100% para evaluar el grado de propagación de la llama.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los materiales, formulación y parámetros para recubrir una cortina de tejido de punto por urdimbre PES 100% con vermiculita expandida.
- Obtener los datos de los ensayos de inflamabilidad que se realizarán en el Flexiburn, utilizando la norma ISO 15025:2000.
- Evaluar los resultados de las pruebas de inflamabilidad de las muestras de los datos mediante el programa PAST.

1.4. Alcance

La presente investigación experimental tiene como finalidad probar la capacidad de resistencia al fuego de la vermiculita expandida a nivel de laboratorio, aplicando este mineral sobre un sustrato textil en diferentes concentraciones y ensayos, posteriormente se realizó pruebas de inflamabilidad en el Flexiburn mediante la norma ISO 15025:2000 y las respectivas pruebas de solidez al lavado en el Wascator según la norma ISO 6330 con el propósito de obtener los datos respectivos y así evaluar el grado de propagación de la llama sobre el tejido para realizar las conclusiones pertinentes del caso además de saber si el acabado tiene resistencia al lavado o no. El proceso se realizó por el método de recubrimiento en donde se tomó en cuenta los diferentes factores que influyeron en dicha investigación con el objetivo de desarrollar de manera correcta este proyecto.

1.4.1. Descripción del lugar de la investigación

Este proyecto de investigación se realizó utilizando los laboratorios normados de la planta académica textil perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, ubicados en la provincia de Imbabura, ciudad de Ibarra, sector de Azaya, calles Morona Santiago y Luciano Solano, como se muestra en la **Figura 1**, con las siguientes coordenadas: (0°22'42"N 78°07'24"W).



Figura 1. Vista satelital de la planta académica textil, ubicación de los laboratorios de calidad textil

Fuente: (Google Maps, 2022)

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Estudios previos

En este apartado se realizó la conglomeración de algunos estudios que tienen una relación directa con los temas de la vermiculita y los acabados textiles.

2.1.1. Vermiculita expandida

2.1.1.1. Propiedades

Jiménez Madrid (2013) comenta las siguientes propiedades acerca de la vermiculita expandida:

- Tiene una densidad entre los 60 y los 140 kg/m³, depende de la granulometría del material.
- El aislamiento térmico va desde los 200°C hasta 1200°C aproximadamente, no se quema, es incombustible.
- La conductividad térmica es de 0,053 ((kcal/h)/m°C) a una temperatura de 20°C.
- Posee buen aislamiento acústico, las ondas sonoras al chocar en la superficie de la vermiculita expandida se reflejan y se absorben por la estructura de las burbujas de aire que contiene internamente el mineral.
- El punto de fusión de la vermiculita es de 1370°C.
- La vermiculita es estable, no se altera ni modifica bajo los efectos de agentes atmosféricos, ni con el paso del tiempo como tal.
- Tiene un pH neutro, igual a 7,2 aproximadamente.
- Mineral no higroscópico e inerte. (pp. 184-185)

2.1.1.2. Usos

Gracias a las propiedades de la vermiculita expandida, este mineral tiene una muy buena valorización en la industria. Al ser un material liviano, con propiedades aislantes tanto térmicas como acústicas es utilizado en la construcción para producir hormigón de baja densidad, también se utiliza como protección de materiales, como elemento filtrante

o para incrementar la viscosidad de aceites. Por otra parte, también es empleado como sustrato en cultivos y como absorbente de humedad (Jiménez Madrid, 2013). Dependiendo del tipo de uso que se dé a este mineral, la vermiculita es un material que resulta reciclable y reutilizable.

2.1.1.3. Seguridad

Se debe ser muy cuidadosos al trabajar con este material ya que puede producir enfermedades como la neumoconiosis, afección que perjudica al aparato respiratorio, todo esto debido al polvo de los silicatos debido a que son pequeños cristales que pueden causar enfermedades y molestias mencionadas anteriormente (Rivero Nogueiras, 2016). Al manipular la vermiculita se recomienda utilizar mascarilla y guantes, más cuando este material se pulveriza ya que tiende a ser un polvo muy volátil y debe manejarse con cuidado.

2.1.1.4. Composición y estructura química

La vermiculita, según Güemez Hernández (2018) pertenece al grupo de los filosilicatos 2:1, en la **Figura 2** se muestra su estructura, un sistema cristalino monocíclico.

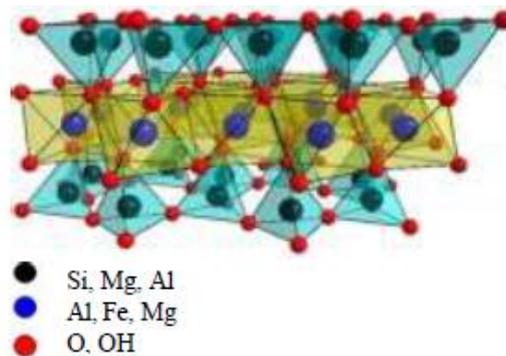


Figura 2. Estructura de la vermiculita

Fuente: Güemez Hernández (2018)

Este material al ser un mineral compuesto por silicatos de aluminio, hierro y magnesio presenta la composición mostrada en la **Tabla 1**, aunque su composición puede variar.

Tabla 1. *Composición Química de la Vermiculita*

Componente	Cantidad (%)
Oxido de Silicio (Sílice) (SiO ₂)	45,1%
Óxido de Magnesio (MgO)	23,6%
Óxido de aluminio (Alúmina) (Al ₂ O ₃)	10,2%
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	5,8%
Óxido de Calcio (CaO)	3%
Óxido de Titanio (TiO ₂)	0,7%
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0,5%
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	0,1%
Agua	2%
Otros compuestos	2,5%

Nota. La composición de la vermiculita no es fija y esta puede variar según varios factores como el lugar geográfico en donde se encuentre y la composición inicial del suelo de donde se originó el mineral. **Fuente:** (Rivero Nogueiras, 2016)

2.1.1.5. Vermiculita expandida como retardante a la flama

Debido a las excelentes propiedades de la vermiculita expandida, como la baja conductividad térmica, la baja densidad, una buena estabilidad térmica y la alta resistencia a elevadas temperaturas, este material se convierte en una opción idónea para ser empleado como aislante térmico.

Según Berná (2013), “Su gran capacidad de ser termoaislante se debe a las paredes brillantes de las láminas de mica en la estructura de la vermiculita que crean una gran

cantidad de pantallas que reflejan y disipan la energía calorífica transmitida por la radiación” (p. 68). De esta manera se encuentra una explicación técnica de la gran capacidad aislante de la vermiculita expandida, en otras palabras, este mineral es prácticamente incombustible y químicamente estable a temperaturas elevadas, es decir, un material extraordinario para la protección contra el fuego.

Gracias a dicha propiedad, la vermiculita expandida se presenta como un material conveniente para ser empleado como retardante a la flama en otras industrias, en especial la industria de los plásticos; se ha reportado el uso de este mineral en la mezcla con ciertos polímeros como el poliestireno, las poliamidas, entre otros, para aumentar la resistencia a la flama y también mejorar su estabilidad térmica (Amador Noya, 2019; Güemez Hernández, 2018).

2.1.2. Textiles ignífugos

En la industria textil encontramos tejidos con ciertas propiedades funcionales en el entorno como lo son los textiles ignífugos. Según Neisius et al. (2015) el término textil ignífugo suele referirse a los tejidos y no tejidos que inhiben o resisten la propagación de la llama. Los textiles se hacen resistentes a la llama mediante tratamientos químicos adecuados o utilizando fibras modificadas o que son intrínsecamente retardadoras de la llama.

Los textiles ignífugos pertenecen a un grupo de textiles técnicos de protección que cuida la integridad de los usuarios y al tejido de las llamas y el calor. En los últimos años, los investigadores han buscado materiales ignífugos con mayor eficacia y que se produzcan mediante procesos sencillos y rentables, además que conserven la propiedad durante mucho tiempo (Montazer & Harifi, 2018).

Para obtener un textil ignífugo, se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones antes de realizar el acabado.

Los tratamientos ignífugos requieren la aplicación de una cantidad relativamente grande de productos químicos, entre el 10 y el 30% del peso del sustrato. Por lo tanto, pueden variar las propiedades estéticas (suavidad, rigidez, lustre, tacto, caída, etc.), las propiedades físicas (lavabilidad, repelencia y liberación de la suciedad y acumulación de carga

estática), las propiedades de tracción, las arrugas y el pilling. (Roy Choudhury, 2017b, p. 195)

Esto indica los cambios que puede tener un tejido y que se debe prestar atención para obtener los resultados deseados.

2.1.2.1. Usos

Los textiles tienen un campo muy amplio de uso, desde prendas de vestir, prendas de protección hasta una utilización en la industria como los textiles técnicos, entre otros. Las propiedades de los tejidos o no tejidos son un aspecto muy importante al momento de elegirlos para un fin determinado.

Los tratamientos ignífugos son una de las funcionalidades más importantes que se les confiere a los textiles para la seguridad contra incendios. Estos acabados se aplican a la ropa como a los uniformes de los bomberos, ropa militar y varias prendas de trabajo, también se encuentran en la ropa de dormir para niños o vestimenta deportiva; por otra parte, también se encuentra textiles ignífugos en tapicería de muebles, de vehículos, textiles de interior, colchones, cortinas y también en textiles para la construcción (Özer & Gaan, 2022).

2.1.3. Proceso de combustión

La combustión es un proceso químico exotérmico que necesita de tres componentes, el calor, el oxígeno y un combustible, si este proceso no tiene un control, este se auto cataliza y continuará hasta que se agote el combustible, el oxígeno o la fuente de calor (Roy Choudhury, 2017b).

En el caso de un material textil, este sufre una degradación propensa al fuego antes de que se produzca la combustión (pirólisis) y varios de los subproductos generados durante la degradación alimentarán al proceso de combustión junto con el oxígeno (Pandit et al., 2020). Todo comprendido en un solo ciclo que pasa por diferentes estados.

En la **Figura 3** se muestra el ciclo de combustión de las fibras textiles que componen un tejido o no tejido.

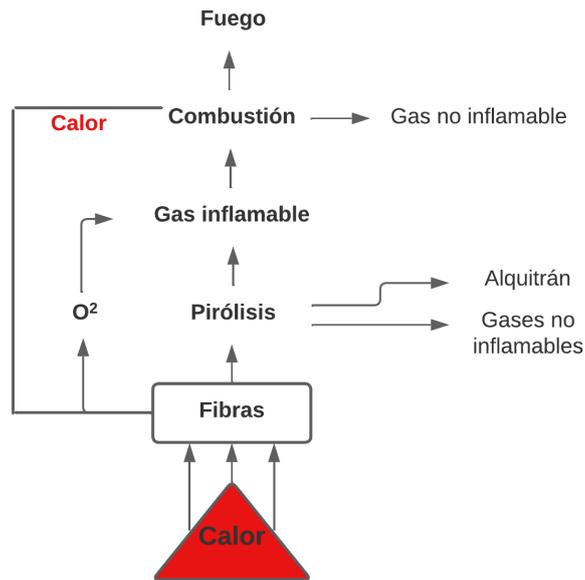


Figura 3. Ciclo de combustión de un material textil

Fuente: (Pandit et al., 2020)

Además de apreciar el ciclo de combustión de las fibras textiles cuando estas son expuestas al fuego también cabe mencionar que las fibras termoplásticas se ablandan a cierta temperatura y luego se funden, mientras que en las fibras naturales la combustión comienza antes del ablandamiento y la fusión.

2.1.4. Retardantes a la flama

Para aplicar un retardante a la flama se debe tener presente ciertas consideraciones, según Horrocks (2019) comenta que para alcanzar un nivel óptimo de resistencia al fuego hay que tener un equilibrio entre los componentes del material textil y su acabado, además se debe tomar en cuenta si el tejido está formado por fibras que contengan aditivos que lo conviertan en ignífugo ya que pueden provocar antagonismos con el acabado que se le proporciona posteriormente, disminuyendo así la capacidad de resistencia al fuego, por otra parte también está el caso que puede provocar determinada afinidad entre los aditivos químicos y mejorar la propiedad deseada, todo depende de los materiales, por tal motivo se debe tener un equilibrio en todas las partes.

Existen elementos y compuestos químicos que habitualmente se usan como retardantes a la flama en los acabados químicos. Neisius et al. (2015) nos menciona algunos:

Estos aditivos ignífugos suelen estar compuestos de fósforo (P), nitrógeno (N), azufre (S), halógenos (Br, Cl, F), silicio (Si), aluminio (Al), magnesio (Mg), antimonio (Sb), estaño (Sn), boro (B), zinc (Zn), carbono (C; grafito), circonio (Zr), titanio (Ti) y calcio (Ca). Al exponerse a la llama, estos compuestos se vuelven activos en la fase condensada o en la fase gaseosa. (p. 429)

Algunos de los productos químicos mencionados no son amigables con el ambiente por lo que ahora la investigación para desarrollar textiles ignífugos se centra en el desarrollo de retardantes de llama sin halógenos, compuestos tóxicos, para diversos tipos de tejidos. Las combinaciones sinérgicas de retardantes de llama convencionales y compuestos inorgánicos también serían un objetivo importante (Roshan, 2015).

2.1.4.1. Métodos de aplicación

Estos retardantes se pueden aplicar de diferentes maneras sobre un sustrato textil, MANATEX (2017) menciona varios modos de adherir los químicos mencionados anteriormente:

- Por inmersión: radica en pasar un material textil a través de un baño que contenga los aditivos retardantes a la flama.
- Por laminación: se basa en adherir un lámina ignífuga sobre un tejido o no tejido que el proporciona las propiedades deseadas.
- Por fibras o hilados: consiste en modificar fibras poliméricas a las cuales se les ha añadido aditivos como el bromo, antes de la extrusión de estas, conformando así los químicos añadidos parte de la cadena de los monómeros.
- Por recubrimiento (fluido aplicado): consiste en la aplicación de un recubrimiento formado por una pasta o fluido por medio de rasqueta o un cilindro. (sec. 3)

En resumen, se puede obtener un textil ignífugo según los métodos de aplicación, ya sea por un acabado utilizando los diferentes métodos que existen o modificando las fibras con aditivos químicos volviéndolas resistentes al fuego.

2.1.5. Recubrimientos

El recubrimiento puede describirse de la siguiente manera según menciona Joshi & Butola (2013):

La aplicación de una capa continua o discontinua de un sistema químico apropiado, generalmente para formar una capa del compuesto de recubrimiento sobre o en el sustrato, creando una estructura compuesta no homogénea. Un tejido recubierto es una estructura compuesta que consta de al menos dos componentes: el tejido base y el recubrimiento. La tela de base suele ser tejida, de punto o no tejida; las estructuras trenzadas rara vez se utilizan para el revestimiento. El material de recubrimiento suele ser un polímero artificial o natural, el tejido puede estar recubierto por una o por ambas caras. (pp. 355-356)

En la actualidad existen varios métodos y maquinaria para aplicar compuestos de recubrimiento polimérico a los sustratos textiles. Pueden clasificarse en función del equipo utilizado, el método de dosificación y la forma del material de recubrimiento.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Vermiculita

A lo largo del tiempo, en la superficie terrestre, la reacción de diferentes factores tanto físicos como químicos han dado lugar a la formación de diferentes tipos de suelos, los cuales están constituidos de varios componentes como minerales, materia orgánica, entre otros.

Existen varios tipos de minerales de los cuales se compone un suelo en específico, como la vermiculita, por ejemplo, se muestra en la **Figura 4**. Varios textos han definido a este mineral como un silicato multicapa hidratado de aluminio, hierro y magnesio con una gran capacidad de expansión al ser calentado (Ruano Orellana, 2016).



Figura 4. Mineral vermiculita

Fuente: (Rivero Nogueiras, 2016)

2.2.1.1. Origen y características

El origen de este mineral se remonta a varios estudios realizados al respecto, Feng et al. (2020) afirma que debido a la acción múltiple de la meteorización natural entre otros fenómenos como la acción hidrotérmica y la filtración de aguas subterráneas en procesos geológicos sobre un grupo de minerales primarios como la biotita dan lugar a la formación de vermiculita, misma que posee una estructura de láminas en las cuales contiene agua entre las capas que componen dicho material, de ahí que se le conozca como un silicato hidratado; los filosilicatos tiene la particularidad de ser minerales hidratados, es decir, que contienen agua en su estructura.

En su forma natural, este mineral se caracteriza por tener color pardo o amarillento, de estructura en forma de láminas que contiene agua en su interior, igualmente, la principal característica de este material inorgánico es su capacidad de expandirse, esto se logra al momento de calentarlo rápidamente a temperaturas superiores a los 900°C, a medida que se evapora el agua en su interior, gracias a la presión interna, el mineral se expande de ocho a veinte veces su volumen inicial, con lo cual obtenemos un material de baja densidad (Berná Serna, 2013).

2.2.2. Vermiculita expandida

Vermiculita expandida es el nombre genérico que adopta el material luego de ser calentado y que a su vez se expande, de ahí el nombre. Según Rodríguez (2019), la

propiedad de expansión o exfoliación como también se le conoce, es debido al contenido de agua que contiene en el interior de su estructura, para lograr que la vermiculita se expanda, esta debe ser calentada de manera súbita, a este proceso se le conoce como choque térmico. Cuando este material se calienta rápidamente a elevadas temperaturas, el agua en su interior se transforma en vapor ocasionando que las partículas de vermiculita incrementen su volumen, generando así un producto final muy ligero que tiene varios usos.

Las partículas de vermiculita expandida se ven como finas láminas que están separadas por espacios de aire. Sus características físicas y composición química están estrechamente relacionadas con la materia prima original, es decir, los minerales primarios de los cuales se formó. Los materiales y productos fabricados con vermiculita expandida tienen algunas particularidades como el ser incombustibles, neutros a la acción de los ácidos y tienen una gran resistencia a la deformación (Koksal et al., 2015).

2.2.3. Acabados textiles

Cualquier operación para mejorar el aspecto o la utilidad de un tejido después de que salga del telar o de la máquina de tejer puede considerarse una etapa de acabado. El acabado es el último paso en la fabricación de tejidos y es cuando se desarrollan las propiedades finales del tejido (Roy Choudhury, 2017a). El objetivo del acabado es mejorar el atractivo y/o la utilidad del tejido. Existe una gran variedad de técnicas entre los distintos tejidos y las distintas unidades de producción.

Según Roy Choudhury (2017a) los procesos de acabado pueden clasificarse a grandes rasgos en dos grupos:

- Los procesos físicos o mecánicos, estos abarcan procesos sencillos como el perchado para conseguir efectos suaves en la superficie del tejido, la rotura del acabado de los productos rellenos para conseguir un tacto confortable, entre otros.
- El acabado químico o también llamado acabado en húmedo implica la adición de productos químicos a los textiles para conseguir el resultado deseado. Normalmente, el aspecto del textil no cambia tras el acabado químico. (p. 2)

2.2.3.1. Acabados ignífugos

Los acabados ignífugos son aquellos tratamientos que son resistentes al fuego, estos suelen aplicarse a los tejidos combustibles que son fabricados en materiales como algodón, lana, poliamidas, poliésteres y sus mezclas, estos se utilizan en la ropa de dormir de los niños, las alfombras, las cortinas y cualquier otro tejido o no tejido con el fin de evitar que estos textiles altamente inflamables estallen en llamas (Roshan, 2015).

Según Pandit et al. (2020), “Los acabados ignífugos son tratamientos que se aplican a los tejidos para impedir el desarrollo de la combustión, estos interfieren en varias fases del proceso, por ejemplo, durante el calentamiento, la descomposición, la ignición y la propagación de la llama” (p. 400).

2.2.4. Tejido de punto por urdimbre

En las estructuras de punto de urdimbre, la puntada se compone de una vuelta (solapamiento) y de una flotación (solapamiento inferior) y, por tanto, tiene una pequeña parte que une estas dos vueltas (o dos capas). Cada vuelta está en un plano paralelo a la otra, considerándose la cara del bucle como la cara técnica y la cara del flotador como el revés técnico (Bueno & Camillieri, 2019).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Métodos

3.1.1. Enfoque de investigación

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque cuantitativo. Este enfoque representa un conjunto de procesos organizados de manera secuencial en donde se comprueba ciertas suposiciones. Cada etapa precede a la siguiente y no se puede evitar los pasos que deben seguirse, el orden es estricto, sin embargo, se puede rectificar o cambiar alguna de las etapas de las que se compone la investigación. La ruta cuantitativa es la más apropiada cuando se quiere evaluar las magnitudes de los fenómenos y demostrar ciertas presunciones al respecto (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2018).

Esta investigación recoge datos cuantitativos de los ensayos desarrollados que se utilizaron para determinar las respectivas conclusiones descritas en el apartado **5.1**, previamente se siguió una serie de pasos en un orden determinado para llegar a los resultados deseados.

3.1.2. Método de investigación

Se empleó el método experimental que consiste en una comprobación de hechos a confirmar. Este ha sido utilizado en diferentes carreras y entre sus características está el manejo de la información, de las variables, entre otros (SEMAR, 2016). Esta investigación se basa en un modelo experimental en donde se probó las suposiciones planteadas en base a la teoría argumentada en el apartado **2.1.1.5**

También se hizo uso del método analítico. Este método es aquel que identifica y separa los componentes de un todo, para que sean analizados ordenadamente y examinar las relaciones entre las partes de una investigación, va de lo particular a lo general y viceversa (Maya, 2014). En la presente investigación, se realizó un análisis de los resultados obtenidos luego de los experimentos que se llevaron a cabo, como resultado se examinó los datos obtenidos y se llegó a las conclusiones pertinentes del caso.

3.1.3. Técnica de investigación

En la parte teórica se hace uso de la técnica de revisión de fuentes bibliográficas para la recopilación de datos con el fin de armar un marco teórico que sustente el proyecto de investigación.

Para la parte práctica se usa la técnica de observación-experimental. Según Ñaupas Paitán (2018) esta técnica consiste en examinar atentamente el efecto que produce la manipulación de la variable independiente sobre la variable dependiente. Además, se examinan las características del comportamiento de las personas en el grupo experimental y de control, en el experimento.

3.2. Normas por utilizar

3.2.1. Norma de ensayo al fuego

Norma ISO 15025:2000, norma de ropa de protección, protección contra el calor y las llamas, método de prueba para la propagación limitada de la llama. Procedimiento B: ignición en el borde. Utilizada para los ensayos al fuego en el equipo Flexiburn (UNE, s. f.-b).

3.2.2. Norma de solidez al lavado

Norma ISO 6330:2012, procedimiento de lavado y secado doméstico para ensayos textiles. Utilizada para determinar la resistencia que tiene el acabado aplicado a un lavado. Utilizada para analizar la solidez del recubrimiento del tejido al lavado (UNE, s. f.-a).

3.3. Flujogramas

En esta sección se muestra los flujogramas de proceso general y muestral en donde se detalla de manera universal los procedimientos y fórmulas empleadas en la presente investigación.

3.3.1. Flujograma de proceso general

En la **Figura 5** se muestra el flujograma de procesos de maneral general para realizar el recubrimiento ignífugo sobre un tejido.

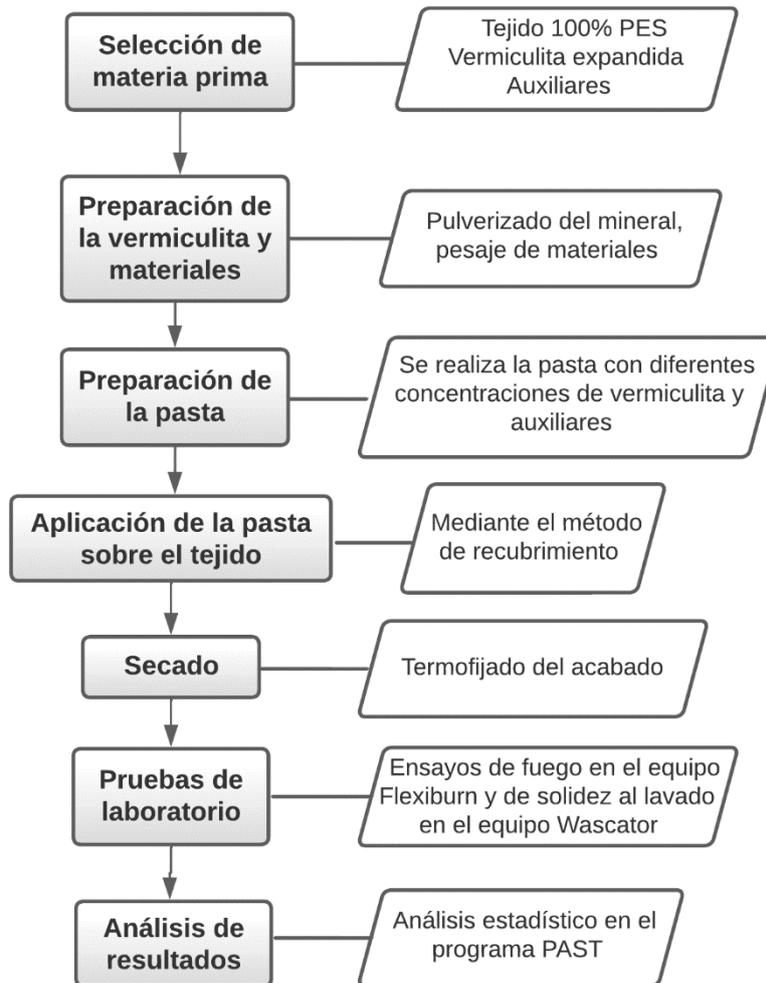


Figura 5. Flujograma de proceso

Fuente: Autor

3.3.2. Flujograma muestral

La **Figura 6** muestra el flujograma muestral en donde se detalla las 3 formulaciones y el número de muestras con las que se trabajó en la presente investigación.

Las formulaciones y las muestras se detallan más a fondo en la sección **3.5.2**, en donde se profundiza cada uno de los puntos mostrados en este flujograma, las variables, las concentraciones de vermiculita expandida y de los productos, así como la cantidad de muestras según las normas que se emplearon.

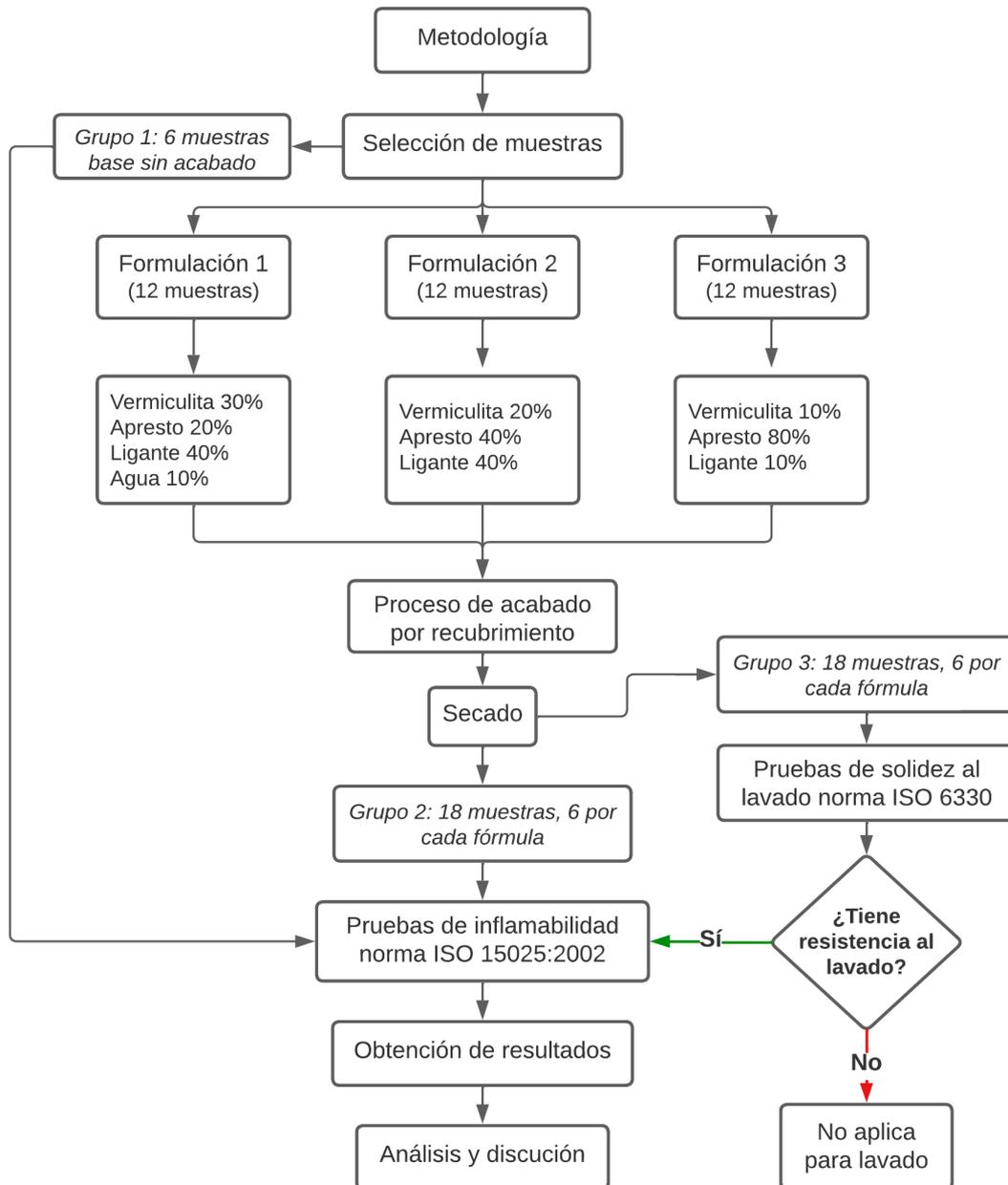


Figura 6. Flujograma muestral

Fuente: Autor

3.4. Materiales y equipos

Para el desarrollo de la parte práctica del presente proyecto de investigación es necesario el empleo de materiales, instrumentos y equipos de laboratorio, como los siguientes.

3.4.1. Materiales

Los materiales que se utilizaron para facilitar el proceso de la parte práctica son los siguientes:

- Vasos de precipitación, vasos desechables
- Agitador
- Tijeras
- Reglas
- Racle

3.4.2. Equipos

Se muestra las características de los equipos en la **Tabla 2**, mismos que se utilizaron en el proceso práctico de la presente investigación.

Tabla 2. *Equipos*

Equipo	Características	
Balanza Analítica	Marca: Boeco	Peso máx.: 750 g
Horno de curado	Horno casero	
Flexiburn	Marca: James Heal	Tipo de gas: butano o propano comercial
	Software: TestWise Pro	
	Voltaje: 110v	Dimensiones del porta muestras: 20 cm x 16 cm
	Equipo: Wascator FOM 71 CLS	
Wascator	Marca: Electrolux	
	Tipo de lavadora: Tipo A - vertical	

Fuente: Autor

3.4.3. Materia prima y auxiliares

Se muestra en la **Tabla 3** las características básicas de los productos que se utilizaron para realizar el recubrimiento ignífugo.

Tabla 3. *Productos*

Producto	Características
Vermiculita expandida	Mineral (Véase Anexo 2.)
	<ul style="list-style-type: none">• Homopolímero vinílico• No iónico
Apresto (Tex Bond)	<ul style="list-style-type: none">• pH = 4 – 5• Viscosidad = 16000 – 24000 cps <p>(Véase Anexo 3.)</p>
Ligante (Novaprint FSH)	<ul style="list-style-type: none">• Novaprint FSH• Dispersión acrílica• pH = 7• Viscosidad = 150 ± 100 cps <p>(Véase Anexo 4.)</p>

Nota: Características extraídas de la ficha técnica. **Fuente:** (Color Química, 2017, 2010)

3.4.3.1. Caracterización del tejido

En la **Tabla 4** se indican las normas que se utilizaron para definir el gramaje y la composición del tejido, a continuación, el proceso que se llevó a cabo para la caracterización correspondiente.

Tabla 4. Normas para la caracterización

Característica	Ensayo	Descripción
Composición	AATCC 20A	Análisis cuantitativo de fibras
Gramaje	ISO 3801	Determinación de masa por unidad de área

Fuente: Autor

En primer lugar, se verificó, de manera visual, mediante el uso de una lupa, el tipo de material textil con el que se trabajó, confirmando que se trata de un tejido de punto por urdimbre tal y como se muestra en el Anexo 5. en donde se observa la estructura de dicho tejido y se puede apreciar la disposición de los hilos.

En la **Tabla 5** se expone los datos generales de la muestra de tejido; según la norma ISO 3801, para realizar los cálculos de gramaje se necesita conocer la masa de 5 especímenes que se obtienen con la cortadora circular del laboratorio.

Tabla 5. Datos generales de la muestra

Muestra	Tipo de tejido		Composición
	Punto por urdimbre		100% PES
	Densidad (g/m ²)	Rendimiento (m/kg)	Peso muestra (g)
	56.12	6.37	0.56 ± 0.01

Fuente: Autor

3.5. Diseño experimental

3.5.1. Análisis muestral

Las muestras se dividen en tres grupos, en la **Tabla 6** se detalla el número de muestras que se utilizaron para las pruebas. El primer grupo de muestras sirve como base de pruebas, estas muestras no contienen ningún tipo de recubrimiento y se someten directamente a los ensayos al fuego, los dos grupos restantes poseen el recubrimiento ignífugo y se proceden a las pruebas respectivas.

Para los ensayos al fuego, según la norma ISO 15025:2000, se necesitan 6 especímenes con dimensiones determinadas de 20cm x 16cm, 3 en sentido de la urdimbre y 3 en sentido de la trama.

Tabla 6. *Análisis muestral*

Grupos	N.º de muestras	Detalles
Grupo 1	6 muestras sin recubrimiento	Ensayo al fuego
Grupo 2	18 muestras con recubrimiento (6 x cada fórmula)	Ensayo al fuego
Grupo 3	18 muestras con recubrimiento (6 x cada fórmula)	Prueba de solidez al lavado, posteriormente, ensayo al fuego
Total	42 muestras	Analizadas

Nota. Para el grupo 3 se debe tomar en cuenta que primero se debe realizar las pruebas preliminares de solidez, en vista de los resultados se procede o no con todas las muestras.

Fuente: Autor

3.5.2. Variables y formulación

En la presente investigación se manipuló una variable en específico, la concentración de vermiculita expandida, considerando una concentración alta, media y baja. El resto de los componentes van variando en función de lo mencionado anteriormente.

Para la formulación del apresto, según Huerta Rentería (2013) la pasta que se forma para realizar este tipo de acabados utiliza productos tales como una resina, agua, espesante, lubricante y el propio retardante, el 90% de la formulación de la pasta está formado por el retardante y la resina mientras que el 10% restante va formado por los productos restantes mencionados anteriormente que son aquellos que le dan una consistencia a la pasta como puede ser el agua y/o espesante, entre otros. Cabe aclarar que Huerta utiliza un retardante en estado líquido a diferencia de la vermiculita que es un mineral en estado sólido.

En la **Tabla 7** se expone los componentes de los cuales se forma la pasta y las concentraciones de cada uno en porcentajes para las 3 fórmulas establecidas como concentraciones alta, media y baja.

Tabla 7. *Formulaciones para el apresto*

Productos	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3
Vermiculita expandida	30%	20%	10%
Apresto	20%	40%	80%
Ligante	40%	40%	10%
Agua	10%	0%	0%
	100%	100%	100%

Nota. Las concentraciones de cada producto se obtuvieron luego de realizar diferentes pruebas caseras a fin de encontrar los mejores resultados. **Fuente:** Autor

Las concentraciones de apresto van variando en cada una de las formulaciones según la concentración de vermiculita, al ser un producto con una viscosidad alta, no necesitó ningún tipo de espesante, la concentración de apresto se va duplicando en función de la vermiculita expandida que va bajando 10% en cada receta. El ligante se mantiene en las dos primeras recetas y en la última baja un 30% con la finalidad de adicionar más apresto y obtener una pasta con una buena consistencia para la aplicación. El agua solo se utiliza en la primera receta con la finalidad de obtener una pasta óptima para la aplicación, en las dos recetas restantes no se necesitó añadir agua para conseguir la consistencia deseada.

3.5.3. Preparación de la pasta

En primer lugar, se debe preparar a la vermiculita expandida debido a que esta no se encuentra físicamente apta para realizar la pasta, tiene una granulometría determinada y por esto requirió bajar el tamaño de partícula hasta que este permita elaborar una pasta con una buena consistencia para aplicar sobre el tejido. Este proceso se lo hizo utilizando un molino casero, posteriormente se filtró para obtener el tamaño de partícula deseado y así proceder con la preparación de la mezcla (véase el proceso en el Anexo 7.).

Para la preparación de la mezcla, se siguen los pasos que se muestra en la **Figura 7**, previamente se debe tener listo la vermiculita y los auxiliares para la formación de la pasta.

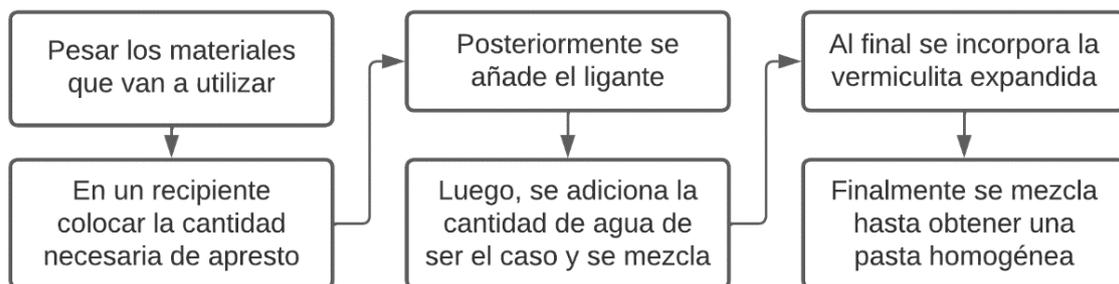


Figura 7. Preparación de la pasta

Fuente: Autor

3.6. Recubrimiento ignífugo

El proceso de recubrimiento fue a través del método de recubrimiento, para esto se utilizó un pequeño marco fabricado en un polímero mediante una impresora 3D, este marco o molde cuenta con una dimensiones específicas para realizar el recubrimiento.

Para realizar el proceso de recubrimiento se siguen los siguientes pasos (Véase el proceso en el Anexo 8.):

1. Se coloca la muestra de tejido sobre una base.
2. Se pone el marco sobre el tejido.
3. Se añade la cantidad determinada de pasta sobre el tejido.
4. Se distribuye la pasta por todo el área de la muestra con la ayuda del racle hasta formar una capa homogénea.
5. Se retira el marco.
6. Se procede al secado de la muestra utilizando un horno casero a 160°C durante 10 minutos.

3.7. Pruebas de laboratorio

Se realizaron dos pruebas de laboratorio, las pruebas al fuego y de solidez al lavado.

3.7.1. Ensayos al fuego

Para los ensayos al fuego se trabajó con la norma ISO 15025:2000. Según la norma se debe tomar en cuenta ciertos parámetros y condiciones para calibrar el equipo y al momento de realizar la prueba.

- **Temperatura de la recámara:** la temperatura debe ser de (24 ± 2) °C.
- **Humedad relativa de la recámara:** debe ser de (61 ± 5) %HR.
- **Dirección del tejido:** se toma en cuenta dos direcciones, longitudinal y transversal.
- **Altura de la llama:** debe ser de (45 ± 2) mm, distancia desde la punta del quemador al extremo final de la llama.
- **Distancia de la llama:** la distancia entre la punta del quemador y le borde inferior de la muestra debe ser de (20 ± 1) mm.
- **Tiempo de prueba:** la duración de la prueba es de 10 segundos.

Además, en la norma existe dos procedimientos para realizar las pruebas, para esta investigación se empleó el procedimiento B, ignición en el borde (Marina Textil, s. f.). Una vez que se conocen los parámetros que necesitan ser ajustados se procede a realizar la prueba siguiendo la instrucciones (Véase el proceso en el Anexo 9.):

1. En primer lugar, se conecta el tanque de gas a la válvula del equipo. Luego se enciende el equipo y se configura el software, seleccionando la norma que se va a utilizar y demás parámetros.
2. Se prepara la muestra con dimensiones de 20 cm x 16 cm, misma que se basa en una plantilla que viene con el equipo e indica la posición de los pasadores.
3. Se procede al montaje de la muestra sobre los pasadores que están dispuestos en las esquinas del marco de montaje y sirven de soporte para la sujeción de la muestra de prueba.
4. En el software se coloca en posición el quemador y se procede a encender este.
5. Se ajusta la llama a una altura de 45 mm y se inicia la etapa de precalentamiento, fijándose que la llama esté en la altura deseada y que no haya movimiento dentro de la recámara.
6. Se inicia la prueba desde el software; se mueve el quemador quedando en un ángulo de 30° con respecto a la vertical durante 10 segundos.

3.7.2. Pruebas de solidez al lavado

En las pruebas de solidez al lavado se utilizó el equipo Wascator siguiendo la norma ISO 6330, misma que detalla ciertos parámetros a tomar en cuenta.

Tabla 8. *Datos de la prueba de solidez al lavado*

Datos técnicos	
Norma : ISO 6330:2012	Nivel de líquido: 130 mm
Tipo Lavado: 10 3N	Temperatura: 22°C ± 2
Tiempo de Lavado: 45min	Detergente: 20 g

Fuente: Autor

Para realizar esta prueba el procedimiento es (Véase en el Anexo 10.):

1. Encender el equipo
2. Pesar las muestras de manera individual.
3. Pesar 20g de detergente.
4. Ingresar las muestras en la lavadora junto con los contrapesos respectivos.
5. Añadir el detergente determinado en la parte superior del equipo.
6. Configurar el software e iniciar el lavado.
7. Finalmente sacar las muestras y los contrapesos y secarlas en condiciones ambientales.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron. Se obtuvieron resultados de la parte práctica en donde se realizó el recubrimiento, posteriormente se realizaron las pruebas de laboratorio correspondientes y se obtuvieron los resultados de dichas pruebas.

4.1.1. Recubrimiento ignífugo

Para realizar el recubrimiento se hicieron una serie de pruebas caseras para determinar la mejor concentración de cada auxiliar y también la mejor manera de aplicar la pasta sobre el tejido para obtener los resultados deseados. Además no se logró aplicar un acabado como tal, sino que se recubrió el tejido y se le otorgó un tipo de protección a una cara del tejido.

4.1.1.1. Preparación de la pasta

Para la preparación de la mezcla, en primer lugar, se revisó los auxiliares que se utilizaron, en función de lo que se necesita para adherir la vermiculita al tejido, para esto se necesita de un apresto y un ligante, con la finalidad de darle cuerpo a la tela y que el mineral pulverizado se pueda mezclar creando un pasta para recubrir el tejido. Previamente se consideró tres recetas, con una concentración alta, media y baja de vermiculita, tomando en cuenta lo que se describe en el apartado **3.5.2.**

Se inició elaborando la pasta con una concentración alta de vermiculita al 50% y no se consiguió una pasta con la consistencia deseada debido al estado y la densidad de la vermiculita. Con el 40% de vermiculita tampoco se consiguió realizar una mezcla que permita la aplicación sobre el tejido. Al bajar al 30% se logró aplicar la pasta sobre la tela, los resultados fueron un muestra tejido muy rígido y quebradizo, además que la pasta formada era muy reseca, por lo cual se necesitaba algo que le ayude a conseguir un tacto más suave y que la pasta se pueda aplicar de la mejor manera sobre el textil. A esto se añadió un ligante que mejoró notablemente el tacto del tejido y la mezcla formada se podía manipular de mejor manera.

El 30% de vermiculita se consideró como concentración alta, y para la media y baja se reduce 10% gradual y respectivamente, con el apresto y el ligante también se hicieron pruebas hasta conseguir una pasta con una consistencia que permita realizar y conseguir un buen recubrimiento.

4.1.1.2. Aplicación del recubrimiento

Debido a las características físicas de la vermiculita y del tejido en sí, no se logró formar una capa sobre las muestras y el resultado en los ensayos al fuego fue una combustión total de estas por lo que se necesitaba formar una capa homogénea que brinde resistencia al fuego y proteja al tejido base. Se utilizó un marco sin malla con unas dimensiones específicas para lograr realizar el recubrimiento en una determinada área del tejido, como un molde, este se lo consiguió mediante una impresión 3D a base de polímero.

4.1.1.3. Análisis muestral del recubrimiento

Las muestras finales obtenidas tiene un peso diferente al de las muestras iniciales, esto se debe al recubrimiento realizado, el cual posee un peso determinado. Las muestras están separadas en subgrupos que pertenecen a cada una de las tres fórmulas que se emplearon.

- **Fórmula 1**

Esta muestra corresponde a la fórmula de concentración alta vermiculita expandida (30%).

Peso inicial: 1.83 g \pm 0.01 g

Peso final: 12.21 g \pm 0.3 g

- **Fórmula 2**

Esta muestra corresponde a la fórmula de concentración media de vermiculita expandida (20%).

Peso inicial: 1.83 \pm 0.01 g

Peso final: 11.46 g \pm 0.3 g

- **Fórmula 3**

Esta muestra corresponde a la fórmula de concentración baja de vermiculita expandida (10%).

Peso inicial: 1.83 ± 0.01 g

Peso final: $10.69 \text{ g} \pm 0.3 \text{ g}$

4.1.2. Pruebas de laboratorio

Para la obtención de los datos de las pruebas en el Flexiburn se debe tomar en cuenta una serie de parámetros con los cuales se califica y se realiza el respectivo análisis, después de la prueba se registra lo siguiente.

- a. Si la flama alcanza el borde superior o el borde vertical de la muestra de ensayo.
- b. Tiempo de inicio de combustión de la muestra.
- c. Tiempo de postcombustión.
- d. Tiempo de post incandescencia.
- e. Si la post incandescencia se extiende más allá del área de propagación de la llama.
- f. Existencia de escombros o residuos.
- g. Si los desechos encienden el papel filtro.
- h. Si se desarrolla un agujero.
- i. Longitud máxima dañada.

El parámetro de incandescencia no se toma en cuenta en este caso, es nulo, debido a que se trabajó con fibras sintéticas. En los ensayos al fuego, en primer lugar, se obtuvieron los datos iniciales de las muestras que sirvieron de base para el análisis, en la **Tabla 9** se exponen los resultados de estas, siendo el grupo 1, tal y como se detalla en el apartado **3.5.1**. La **Tabla 10**, **Tabla 11** y **Tabla 12** exponen los resultados de las muestras con el recubrimiento, siendo estas el grupo 2. La muestra 1 es la de concentración alta de vermiculita (30%), la muestra 2 es la concentración media (20%) y la muestra 3 es la concentración baja (10%).

Tabla 9. Resultados muestra 0, sin recubrimiento

Sentido	N.º de muestra	Tiempo de aplicación de la llama	Parámetros de evaluación Norma ISO 15025								
			a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.
			Si/No	s	s	s	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	mm
Urdimbre	1	10 s	N	0,1	0	0	N	N	N	S	131
	2	10 s	N	0,1	0	0	N	N	N	S	153
	3	10 s	N	0,1	0	0	N	N	N	S	132
	Promedio			0,1	0	0					138,7
Trama	1	10 s	N	0,1	0	0	N	N	N	S	103
	2	10 s	N	0,1	0	0	N	N	N	S	106
	3	10 s	N	0,1	0	0	N	N	N	S	117
	Promedio			0,1	0	0					108,7
Observaciones	Se quemó una parte de la muestra apenas entró en contacto con la llama										

Nota. Los literales desde la **a** hasta la **i** corresponden a los parámetros que se deben registrar según la norma ISO 15025:2000. **S:** si; **N:** no; **s:** segundos **mm:** milímetros.

Fuente: (Autor)

Tabla 10. Resultados muestra 1, concentración alta de vermiculita

Sentido	N.º de muestra	Tiempo de aplicación de la llama	Parámetros de evaluación Norma ISO 15025								
			a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.
			Si/No	s	s	s	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	mm
Urdimbre	1	10 s	N	5	1	0	N	N	N	N	68
	2	10 s	N	5	1	0	N	N	N	N	61
	3	10 s	N	5	2	0	N	N	N	N	56
	Promedio			5	1,33	0					61,67
Trama	1	10 s	N	5	1	0	N	N	N	N	68
	2	10 s	N	5	3	0	N	N	N	N	70
	3	10 s	N	5	1	0	N	N	N	N	62
	Promedio			5	1,67	0					66,67
Observaciones			Buena resistencia al fuego, no se quema la muestra								

Nota. Los literales desde la **a** hasta la **i** corresponden a los parámetros que se deben registrar según la norma ISO 15025:2000. **S**: si; **N**: no; **s**: segundos **mm**: milímetros.

Fuente: (Autor)

Tabla 11. Resultados muestra 2, concentración media de vermiculita

Sentido	N.º de muestra	Tiempo de aplicación de la llama	Parámetros de evaluación Norma ISO 15025								
			a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.
			Si/No	s	s	s	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	mm
Urdimbre	1	10 s	N	4	8	0	N	N	N	N	107
	2	10 s	N	4	6	0	N	N	N	N	95
	3	10 s	N	4	7	0	N	N	N	N	96
	Promedio			4	7	0					99,33
Trama	1	10 s	N	4	6	0	N	N	N	N	97
	2	10 s	N	4	6	0	N	N	N	N	95
	3	10 s	N	4	7	0	N	N	N	N	106
	Promedio			4	6,33	0					99,33
Observaciones			Resistencia al fuego, no se quema la muestra								

Nota. Los literales desde la **a** hasta la **i** corresponden a los parámetros que se deben registrar según la norma ISO 15025:2000. **S:** si; **N:** no; **s:** segundos **mm:** milímetros.

Fuente: (Autor)

Tabla 12. Resultados muestra 3, concentración baja de vermiculita

Sentido	N.º de muestra	Tiempo de aplicación de la llama	Parámetros de evaluación Norma ISO 15025								
			a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.
			Si/No	s	s	s	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	mm
Urdimbre	1	10 s	S	2	25	0	N	S	N	S	176
	2	10 s	S	2	22	0	N	S	N	S	178
	3	10 s	S	2	24	0	N	S	N	S	185
	Promedio			2	23,67	0					179,7
Trama	1	10 s	S	2	27	0	N	S	N	S	178
	2	10 s	S	2	23	0	N	S	N	S	174
	3	10 s	S	2	24	0	N	S	N	S	177
	Promedio			2	24,67	0					176,3
Observaciones	Se forma un agujero y se quema la muestra hasta el borde superior										

Nota. Los literales desde la **a** hasta la **i** corresponden a los parámetros que se deben registrar según la norma ISO 15025:2000. **S:** si; **N:** no; **s:** segundos **mm:** milímetros.

Fuente: (Autor)

En la **Tabla 13** se muestra los resultados de manera gráfica obtenidos luego de las respectivas pruebas de laboratorio en el equipo Flexiburn en donde se demuestra que la vermiculita expandida cumple su función de aislante del fuego al ser aplicada a un tejido.

Tabla 13. *Resultados de las pruebas al fuego*

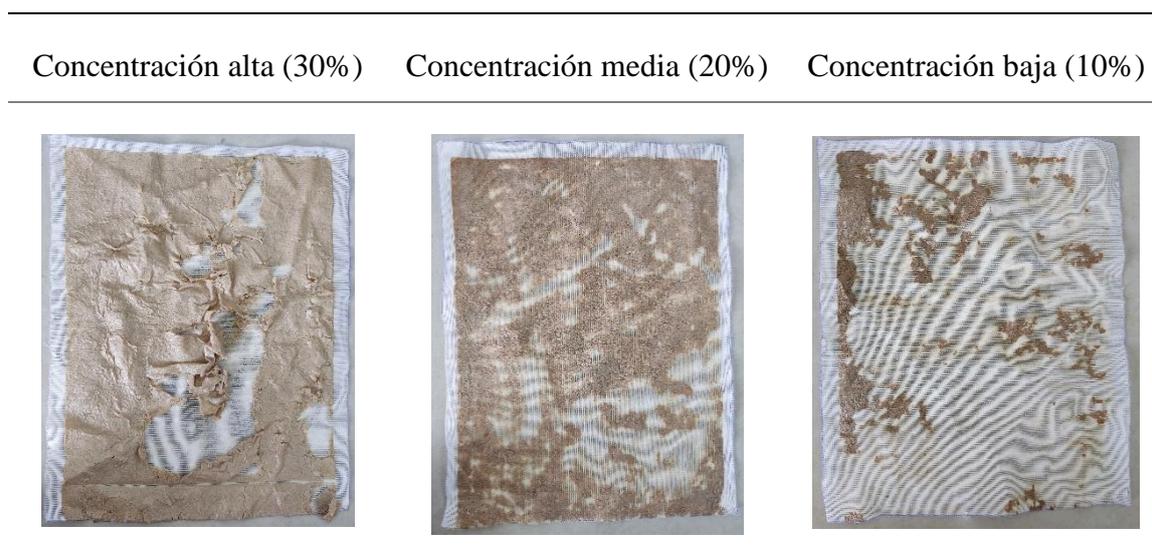
Concentración alta (30%)	Concentración media (20%)	Concentración baja (10%)
		

Nota. Conforme se reduce la concentración de vermiculita expandida en el recubrimiento, fue disminuyendo su capacidad para resistir al fuego.

En la muestra de concentración baja (10% de vermiculita expandida) tiende a combustionar con facilidad y resulta peor que la muestra 0 (sin recubrimiento), todo lo contrario, ocurre en la concentración alta (30% de vermiculita) en donde se puede apreciar que tiene una buena resistencia al fuego, de la misma manera sucede con la muestra con la concentración media (20% de vermiculita), aunque en este caso la resistencia al fuego disminuye un poco y esto se nota principalmente en la longitud de daño de la muestra además del tiempo de inicio de combustión y post combustión.

En el caso de la prueba de solidez al lavado, se obtuvieron resultados negativos, tal y como se muestra en la **Tabla 14**, por lo que no se procedió con los ensayos al fuego de este grupo de muestras debido a que el recubrimiento realizado sobre el tejido presentó un desgaste en el lavado y tiene tendencia a desprenderse por pedazos conforme baja la concentración de vermiculita, por lo que este tipo de recubrimiento tal y como se lo realizó no aplica para ser lavado, no es permanente.

Tabla 14. Resultados de las pruebas de solidez al lavado



Nota. Conforme se reduce la concentración de vermiculita expandida en el recubrimiento, fue disminuyendo la resistencia al lavado, por lo que se descartó.

Para proceder con los análisis de los datos obtenidos es necesario que estos estén debidamente organizados, tal y como se muestra en la **Tabla 15**, con la finalidad de ser sometidos a un programa estadístico que permita determinar la confiabilidad de las pruebas, además para facilitar el análisis, se trabajó con los promedios de los datos.

Tabla 15. Promedio consolidado de los resultados obtenidos

Tipo de muestra	b. U (s)	b. T (s)	c. U (s)	c. T (s)	i. U (mm)	i. T (mm)
0	0,1	0,1	0	0	138,7	108,7
1	5	5	1,33	1,67	61,67	66,67
2	4	4	7	6,33	99,33	99,33
3	2	2	23,67	24,67	179,7	176,3

Nota. b. = tiempo de inicio de combustión de la muestra (segundos), c. = tiempo post combustión de la muestra (segundos), i. = longitud de daño (milímetros); U = urdimbre, T = trama. **Fuente:** Autor

Los datos de la longitud de daño, según la norma ISO 15025:2000 se mide en milímetros, para el análisis gráfico, se transformó los datos en mm a cm con la finalidad de realizar un análisis de mejor manera debido al rango que existe entre los diferentes datos de los parámetros de estudio, los datos actualizados se muestran en la **Tabla 16**.

4.2. Análisis y discusión de resultados

Los datos obtenidos de las pruebas realizadas se someten a un análisis estadístico permitiendo que los resultados sean fiables y tengan credibilidad, además de representar gráficamente los resultados.

En la **Figura 8** se muestra los valores que se obtuvieron en el test de normalidad realizado en el programa estadístico PAST 4 con los datos de la **Tabla 15**, mismo que representa la veracidad de las pruebas realizadas en el laboratorio y sus resultados. Si los datos son reales, estos se encuentran en un intervalo de confianza del 95%, es decir, los datos proporcionados por los diferentes métodos como Shapiro Wilk, Anderson Darling, Jarque Bera, entre otros, señalan que el valor de p(normal) debe ser mayor a 0,05 para tener la certeza de la veracidad de los datos (Madrid Aris & Martínez Lomakin, 2014).

	b. U (s)	b. T (s)	c. U (s)	c. T (s)	i. U (mm)	i. T (mm)
N	4	4	4	4	4	4
Shapiro-Wilk W	0,9637	0,9637	0,8343	0,8173	0,9925	0,9301
p(normal)	0,8023	0,8023	0,1793	0,137	0,97	0,5951
Anderson-Darling A	0,1992	0,1992	0,4141	0,4494	0,1598	0,2854
p(normal)	0,696	0,696	0,1568	0,1191	0,8557	0,4055
p(Monte Carlo)	0,825	0,8272	0,1735	0,135	0,9779	0,5163
Lilliefors L	0,2133	0,2133	0,2866	0,3145	0,1569	0,2851
p(normal)	0,7581	0,7581	0,3047	0,1849	1	0,3127
p(Monte Carlo)	0,7854	0,7878	0,2951	0,166	0,9722	0,2998
Jarque-Bera JB	0,3918	0,3918	0,6831	0,7445	0,3094	0,3998
p(normal)	0,8221	0,8221	0,7107	0,6892	0,8567	0,8188
p(Monte Carlo)	0,6991	0,6971	0,144	0,108	0,8226	0,6817

Figura 8. Test de normalidad

Fuente: PAST 4

Nota. PAST (**PA**leontological **ST**atistics) (Estadísticas Paleontológicas)

La **Figura 8** indica los valores que se obtuvieron de los diferentes métodos mostrados y señala que la confiabilidad es del 95% debido a que los valores de p(normal) en todas las pruebas son superiores a 0.05, es decir que los valores encontrados son normales y los resultados son los correctos.

En la **Figura 9**, se exponen los resultados del coeficiente de variación y demás valores estadísticos de los promedios de los datos.

	b. U	(s)	b. T	(s)	c. U	(s)	c. T	(s)	i. U	(mm)	i. T	(mm)
N	4		4		4		4		4		4	
Min	0,1		0,1		0		0		61,67		66,67	
Max	5		5		23,67		24,67		179,7		176,3	
Sum	11,1		11,1		32		32,67		479,4		451	
Mean	2,775		2,775		8		8,1675		119,85		112,75	
Std. error	1,088098		1,088098		5,439346		5,661526		25,40231		23,01896	
Variance	4,735833		4,735833		118,3459		128,2115		2581,109		2119,489	
Stand. dev	2,176197		2,176197		10,87869		11,32305		50,80462		46,03791	
Median	3		3		4,165		4		119,015		104,015	
25 prcnil	0,575		0,575		0,3325		0,4175		71,085		74,835	
75 prcnil	4,75		4,75		19,5025		20,085		169,45		159,4	
Mode	NA		NA									
Skewness	-0,4368527		-0,4368527		1,573142		1,684784		0,07883799		1,068048	
Kurtosis	-1,859213		-1,859213		2,296007		2,805261		-1,195582		1,972402	
Geom. mean	1,414214		1,414214		0		0		111,159		106,1386	
Coeff. var	78,42151		78,42151		135,9836		138,6355		42,39017		40,83185	

Figura 9. Estadísticas univariantes

Fuente: PAST 4

Nota. PAST (**PA**leontological **ST**atistics) (Estadísticas Paleontológicas)

El coeficiente de variación (CV) más bajo es el de la longitud dañada (CV = 42,39 U y CV = 40,83 T) mismo que nos indica que los datos de este parámetro son lo que menos variación tiene y que el promedio está más presente. El CV más alto es el de tiempo post combustión debido a que los datos en este parámetro los datos tienen una dispersión mayor debido a las razones que se explicarán más adelante en el análisis gráfico de los resultados.

La **Figura 10** es una representación gráfica en la cual se analizan los valores que se encuentran en la **Tabla 16**, misma que se trabajó con los promedios de los resultados actualizados para un mejor análisis gráfico.

Tabla 16. Promedio de los resultados para el análisis gráfico

Tipo de muestra	b. U (s)	b. T (s)	c. U (s)	c. T (s)	i. U (cm)	i. T (cm)
0	0,1	0,1	0	0	13,87	10,87
1	5	5	1,33	1,67	6,167	6,667
2	4	4	7	6,33	9,933	9,933
3	2	2	23,67	24,67	17,97	17,63

Nota. b. = tiempo de inicio de combustión de la muestra (segundos), c. = tiempo post combustión de la muestra (segundos), i. = longitud de daño (centímetros); U = urdimbre, T = trama. **Fuente:** Autor

Las condiciones para el análisis de cada parámetro se muestran en la **Tabla 17**, mismas que facilitan el entendimiento de los resultados.

Tabla 17. Condiciones para determinar los resultados

Parámetro	Condición
Tiempo inicio combustión (b.)	Entre más alto sea el valor es mejor el resultado.
Tiempo post combustión (b.)	Entre más bajo sea el valor es mejor el resultado.
Longitud dañada (i.)	Entre más bajo sea el valor es mejor el resultado.

Nota. En el caso contrario de la condición, el resultado es peor. **Fuente:** Autor

Otros datos para tener en cuenta es que la **muestra 0** no tiene ningún recubrimiento, la **muestra 1** (30% vermiculita), **muestra 2** (20% vermiculita) y la **muestra 3** (10% vermiculita) poseen el recubrimiento con concentraciones alta, media y baja respectivamente.

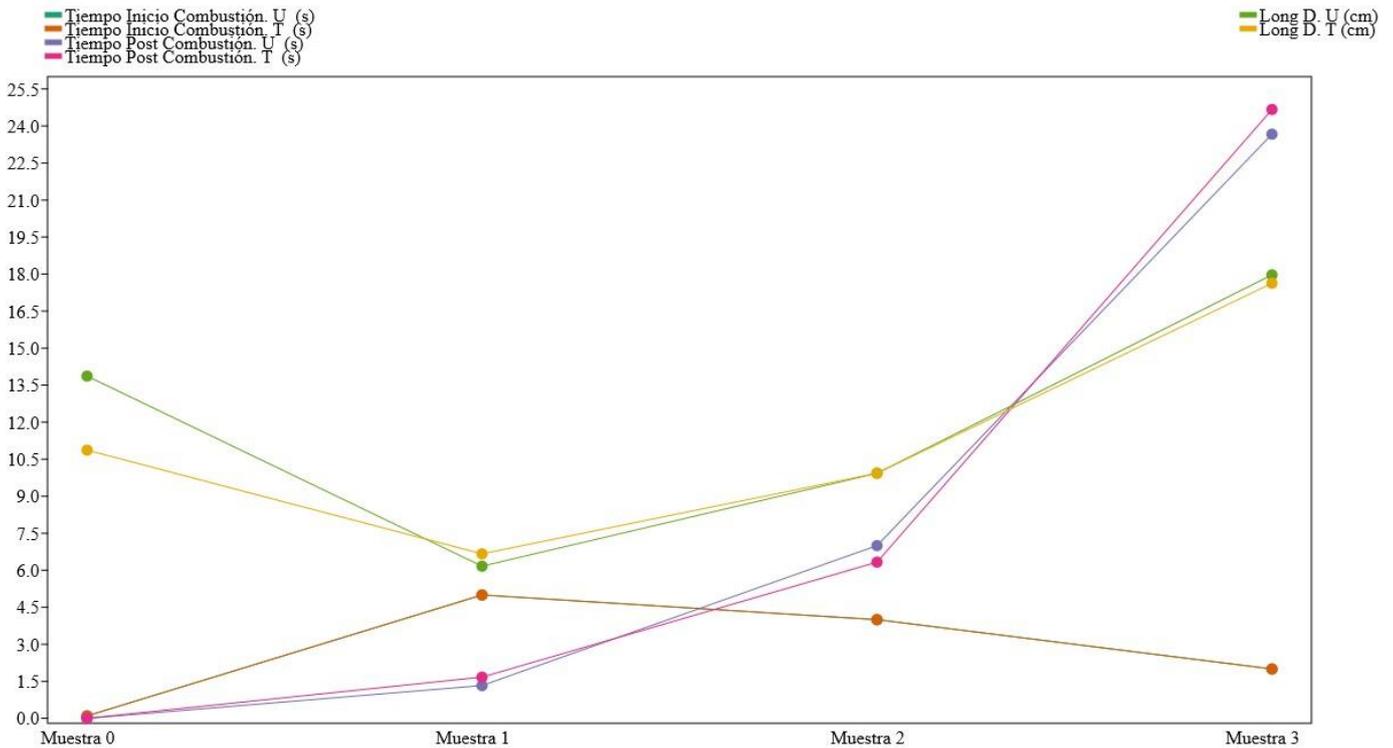


Figura 10. Tendencia de los datos de las muestras

Fuente: PAST 4

Nota. PAST (**PA**leontological **ST**atistics) (Estadísticas Paleontológicas)

La **Figura 10** señala la tendencia que toman los parámetros en los datos según la muestra. Los datos de la longitud dañada están en centímetros con la finalidad de que haya un rango numérico más bajo y se pueda apreciar de mejor manera los gráficos.

Tomando en cuenta las condiciones de la **Tabla 17** para todos los parámetros, el tiempo de inicio de combustión (s) en la muestra 0 (sin recubrimiento) se encuentra en el punto más bajo de la tendencia, lo que quiere decir que es la peor de todas; siguiendo la tendencia del mismo parámetro, en la muestra 1 se encuentra en el punto más alto a

comparación de la muestra 2 y 3 que va bajando gradualmente, es decir, la muestra 1 (concentración alta de vermiculita) es la mejor ya que presenta resistencia al fuego evitando entrar en combustión por más tiempo que las demás muestras con el recubrimiento y mucho mejor que la muestra 0.

Caso contrario en el tiempo post combustión (s), en donde el valor más bajo es el mejor a excepción de la muestra 0 que se encuentra en el punto inferior, esto se debe a que el tejido al entrar en contacto con la llama se degrada rápidamente sufriendo una combustión instantánea en un área determinada de la muestra, quedando un agujero muy visible de 138,7 mm en urdimbre y 108,7 mm en trama, mostrando una nula resistencia al fuego; tomando en cuenta las 3 muestras con recubrimiento, la muestra 1 es la mejor de todas al encontrarse en el punto más bajo de la tendencia a comparación de las otras dos que están más arriba, es decir, entre menos presencia de vermiculita en el recubrimiento, este reduce su capacidad de resistencia al fuego a tal punto que en la concentración más baja se volvió prácticamente combustible, la razón de esto es que los auxiliares utilizados son inflamables cuando no están mezclados con un producto ignífugo que ayude a retardar la propagación de la llama como lo es la vermiculita. En la cuestión de la longitud dañada, evaluada de igual manera, según la tendencia de las muestras analizadas, la muestra 1 se encuentra en el punto más bajo con 61,67 mm para urdimbre y 66,67 mm para trama, a comparación de las otras tres, en especial de la muestra sin recubrimiento que sufrió 138,7 mm en urdimbre y 108,7 mm en trama, esto quiere decir que la presencia de vermiculita genera una resistencia al fuego notable, en el caso de la muestra 3, es la peor de todas debido a las razones mencionadas anteriormente, misma que afecta en cada uno de los parámetros analizados.

En la **Figura 11**, se expone la matrix plot, una representación gráfica en donde se analiza los datos según la tonalidad de color, entre más frío es el color (azul), este indica el valor más bajo que es el cero (0) y entre más cálido sea el color (rojo), el valor es más alto (24,7), mostrando así cual es la mejor muestra según la evaluación de los parámetros indicados anteriormente.

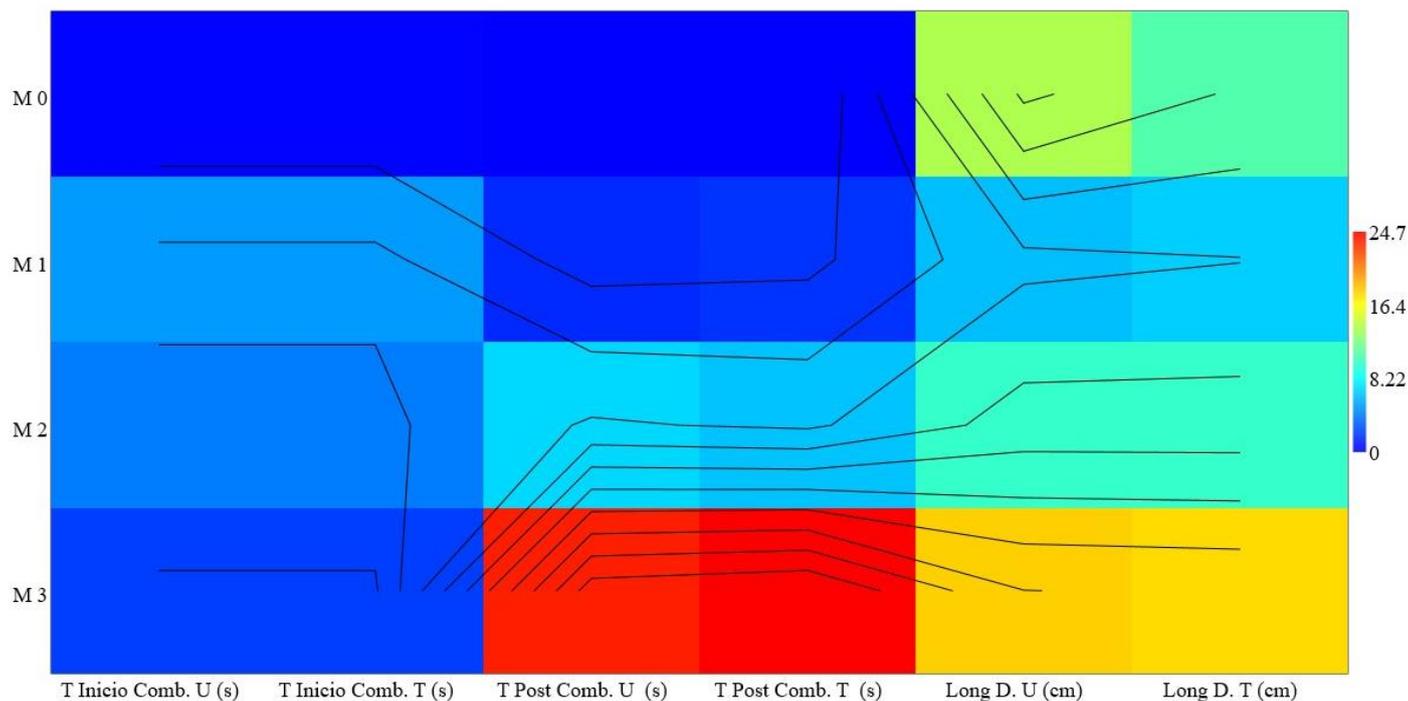


Figura 11. Gráfico Matrix Plot

Fuente: PAST 4

Nota. PAST (**PA**leontological **ST**atistics) (Estadísticas Paleontológicas)

La **Figura 11** muestra de manera visual cuales son los datos más estables en referencia a la tonalidad del color, señalando las similitudes y diferencias entre estos. La muestra más estable es la 1 (concentración alta de vermiculita), esta indica una estabilidad en el tono a través de cada parámetro lo que significa que los valores, con base a las condiciones de evaluación, que se encuentran ahí son los mejores, la muestra 1 indica mejor tiempo de inicio y post combustión que las demás, en el caso de la longitud de daño, aquí se encuentran los valores más altos de manera general en el gráfico, la muestra 1 sigue siendo la mejor al presentar un tono más bajo que el resto, lo que indica que esta muestra es la que menos daño sufrió en exposición al fuego. Los valores de la muestra 1 tampoco son similares en ningún otra y son superiores que la muestra 0. El peor ejemplar de todos en cada aspecto y de manera general es la muestra 3.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para la parte práctica de esta investigación, como producto principal se utilizó vermiculita expandida; se inició las pruebas preliminares empleando el 50% de vermiculita en el total de la mezcla en conjunto con dos auxiliares que permitieron adherir el mineral al tejido y darle un buen tacto, pero no fue posible formar una buena mezcla. Se redujo el porcentaje del mineral progresivamente pero no fue hasta el 30% de vermiculita expandida que se logró formar una mezcla con una buena consistencia para realizar el recubrimiento.
- Para lograr recubrir el tejido y formar una capa homogénea sobre este, se utilizó un molde con dimensiones específicas (dimensiones requeridas por la norma ISO para las muestras) y con un grosor de 1 milímetro, el molde se fabricó en una impresora 3D.
- Se registró una buena resistencia al fuego en la concentración más alta de vermiculita, comprobando así que este mineral funciona como un retardante a la llama sobre el tejido brindando protección al mismo, pero sin lograr un acabado textil. Mientras que la concentración de vermiculita disminuye se logró apreciar que la resistencia al fuego disminuía, esto se debe a que la presencia de vermiculita en las recetas 2 y 3 es menor y por el contrario hay más presencia de los auxiliares que tienden a ser combustibles debido a su origen y al no existir la presencia suficiente de un retardante al fuego.
- En las pruebas de solidez al lavado se obtuvieron resultados negativos por lo que se descartaron y se determinó que el recubrimiento aplicado no es permanente.
- Después de las pruebas y el análisis de resultados se determinó que la mejor muestra es la 1, misma que tiene la concentración más alta del mineral, la receta consta de vermiculita (30%), apresto (20%), ligante (40%) y agua (10%), esta presenta una buena resistencia al fuego, esto quiere decir que la vermiculita expandida si funciona como un retardante al fuego.
- Se cumplió con los tres objetivos específicos de esta investigación, pero no se logró alcanzar el objetivo principal que es realizar un acabado textil, esto se debe

a que no se conservaron las características propias del tejido además de que el recubrimiento no es permanente por lo que se concluye que el recubrimiento aplicado se limita a funcionar como una protección no permanente contra el fuego en una sola dirección del tejido.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar equipos de protección adecuados como la mascarilla, de ser el caso guantes y gafas, para realizar este tipo de investigación, desde un principio, en la preparación de materiales como la preparación de la vermiculita, se tiene que moler el material para reducir el tamaño de partícula por lo que, al momento del proceso, este mineral queda partículas muy finas como un polvo y al momento de manipular con rapidez se volatiliza muy fácil y se debe evitar respirar. En los ensayos al fuego también se debe evitar respirar los gases que se desprenden producto de la combustión de las muestras.
- Para realizar un recubrimiento se recomienda utilizar un molde con las dimensiones requeridas en lugar de un marco con malla de estampación, ya que se necesita formar una capa homogénea que tenga un grosor determinado.
- Se recomienda realizar nuevas recetas con otros auxiliares y hacer más pruebas para analizar los resultados en especial en el apartado físico, como el tacto y la solidez del recubrimiento con la finalidad de que sea permanente y de que se pueda lograr un acabado textil; la vermiculita funciona como un retardante al fuego, pero la combinación de diferentes auxiliares a los que se utilizó en esta investigación puede abrir paso a nuevas pruebas con el objetivo de mejorar de resultados obtenidos en esta investigación.
- Se recomienda trabajar con alrededor del 30% de vermiculita como componente de un sistema químico para realizar un recubrimiento, ese fue el porcentaje que se determinó como el mejor al momento de realizar esta investigación según las pruebas realizadas en el laboratorio.
- No se recomienda utilizar el tejido de punto por urdimbre PES 100% destinado a cortinería para realizar acabados por recubrimiento, el motivo se debe al tipo de tejido, la disposición de los filamentos que forman el punto por urdimbre, tal y como se muestra en el **Anexo 5**, más la baja densidad resulta en un material muy

delgado y hace que este parezca una malla muy fina. Además, por estas mismas razones no se consigue un acabado textil como tal en el sentido de la palabra ni tampoco una buena solidez al lavado del recubrimiento porque se desprende del tejido. Los resultados se reflejan en la **Tabla 14**.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amador Noya, J. V. (2019). Estudio del óxido de grafeno funcionalizado con un agente de acoplamiento tipo silano para analizar el grado de dispersión, propiedades mecánicas y antiplama de nanocompuestos híbridos de polipropileno con vermiculita o hidróxido de magnesio.
<http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/613>
- Berná Serna, J. M. (2013). Evolución de las propiedades mecánicas de los morteros aditivados de yeso con vermiculita. <http://dspace.umh.es/handle/11000/1482>
- Bueno, M.-A., & Camillieri, B. (2019). 3—Structure and mechanics of knitted fabrics. En *Structure and Mechanics of Textile Fibre Assemblies* (pp. 61-107). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102619-9.00003-1>
- Color Química. (2010). Novaprint FSH - Ficha técnica.
- Color Química. (2017). TexBond APL - Ficha técnica.
- Feng, J., Liu, M., Fu, L., Zhang, K., Xie, Z., Shi, D., & Ma, X. (2020). Enhancement and mechanism of vermiculite thermal expansion modified by sodium ions. *RSC Advances*, 10(13), 7635-7642. <https://doi.org/10.1039/D0RA00223B>
- Google Maps. (2022). Google Maps. Google Maps.
<https://www.google.com.ec/maps/@0.3786931,-78.1239053,17z?hl=es>
- Güemez Hernández, A. A. (2018). Síntesis de materiales estirénicos de impacto resistentes a la flama por el proceso de polimerización masa – masa, a través de la incorporación In situ de nano-cargas minerales silíceas del tipo vermiculita.
<http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/572>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (First edition). McGraw-Hill Education.

- Horrocks, A. R. (2019). 9—Smart flame retardant textile coatings and laminates. En W. C. Smith (Ed.), *Smart Textile Coatings and Laminates (Second Edition)* (pp. 205-236). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102428-7.00010-9>
- Huerta Renteria, G. (2013). Desarrollo de un compuesto químico retardante a la flama para telas. 73.
- Jiménez Madrid, P. (2013). Comportamiento del hormigón de alta resistencia frente al fuego. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/3795>
- Joshi, M., & Butola, B. S. (2013). 14—Application technologies for coating, lamination and finishing of technical textiles. En M. L. Gulrajani (Ed.), *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles* (pp. 355-411). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857097613.2.355>
- Koksal, F., Gencil, O., & Kaya, M. (2015). Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 88, 175-187. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.021>
- Madrid Aris, E., & Martínez Lomakin, F. (2014). Estadística para aterrorizados: Interpretando intervalos de confianza y valores p. *Medwave*, 14(01), e5892-e5892. <https://doi.org/10.5867/medwave.2014.01.5892>
- MANATEX. (2017, febrero 24). Diferentes tipos de tejidos ignífugos para la seguridad de espacios. *Manatex - Textiles que aman la adversidad*. <https://www.manatex.es/tipos-de-tejidos-ignifugos-seguridad/>
- Marina Textil. (s. f.). ISO 15025. Marina Textil. <https://marinatextil.com/es/norma-tejido-proteccion/iso-15025-norma-tejido-tecnico>

- Maya, E. (2014). Métodos y técnicas de investigación. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2418>
- Montazer, M., & Harifi, T. (2018). 11—Flame-retardant textile nanofinishes. En M. Montazer & T. Harifi (Eds.), *Nanofinishing of Textile Materials* (pp. 163-181). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101214-7.00011-X>
- Neisius, M., Stelzig, T., Liang, S., & Gaan, S. (2015). 14—Flame retardant finishes for textiles. En R. Paul (Ed.), *Functional Finishes for Textiles* (pp. 429-461). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857098450.2.429>
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., & Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la Investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. Ediciones de la U.
- Özer, M. S., & Gaan, S. (2022). Recent developments in phosphorus based flame retardant coatings for textiles: Synthesis, applications and performance. *Progress in Organic Coatings*, 171, 107027. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.107027>
- Pandit, P., Singha, K., Kumar, V., & Maity, S. (2020). Chapter 16—Advanced flame-retardant agents for protective textiles and clothing. En S. ul-Islam & B. S. Butola (Eds.), *Advances in Functional and Protective Textiles* (pp. 397-414). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820257-9.00016-3>
- Rivero Nogueiras, V. (2016). Análisis medioambiental de los aislamientos térmicos en la construcción. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/17490>
- Rodríguez Cueto, Y. (2019). Estudio del efecto de la modificación química de vermiculita (VMC) y el uso de plastificante con funcionalidad amino en el almidón termoplástico (ATP) y la procesabilidad de nanocompuestos almidón

termoplástico/vermiculita.

<http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/615>

Roshan, P. (2015). 1—Functional finishes for textiles: An overview. En R. Paul (Ed.),

Functional Finishes for Textiles (pp. 1-14). Woodhead Publishing.

<https://doi.org/10.1533/9780857098450.1>

Roy Choudhury, A. K. (2017a). 1—Introduction to finishing. En A. K. Roy Choudhury

(Ed.), Principles of Textile Finishing (pp. 1-19). Woodhead Publishing.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100646-7.00001-1>

Roy Choudhury, A. K. (2017b). 8—Flame- and fire-retardant finishes. En A. K. Roy

Choudhury (Ed.), Principles of Textile Finishing (pp. 195-244). Woodhead

Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100646-7.00008-4>

Ruano Orellana, B. G. (2016). Evaluación del uso de vermiculita y perlita como

alternativas al Phytigel® en la propagación in vitro de camote (*Ipomoea batatas*

L.). 18.

SEMAR. (2016). Metodología de la investigación. Secretaría Marina.

UNE. (s. f.-a). ISO 6330:2012. [https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0049894)

[norma/norma/?c=N0049894](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0049894)

UNE. (s. f.-b). ISO 15025:2000. [https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=026233)

[norma/iso/?c=026233](https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=026233)

ANEXOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL



Ibarra, 31 de mayo del 2023

CERTIFICADO DE LABORATORIO

Yo, Ingeniero **Fausto Gualoto M.** en calidad de responsable del laboratorio de procesos textiles de la Carrera de Ingeniería Textil:

CERTIFICO

Que el señor **Barrera Guerrero Roberto Carlos**, portador de la cédula de ciudadanía N°100298065-2, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Proyecto de Tesis de grado titulado “**ACABADO IGNÍFUGO A BASE DE VERMICULITA EXPANDIDA MEDIANTE EL MÉTODO DE RECUBRIMIENTO SOBRE UN TEJIDO DE PUNTO POR URDIMBRE PES 100% PARA EVALUAR EL GRADO DE PROPAGACIÓN A LA LLAMA**”, los equipos utilizados en el laboratorio son:

- Flexiburn
- Wascator
- Balanza analítica

Además, se le ayudo con las asesorías necesarias para cumplir a cabalidad la metodología establecida en cada una de las normas.

Atentamente:



FAUSTO EDMUNDO
GUALOTO MAFLA

ING. GUALOTO FAUSTO M.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE PROCESOS TEXTILES – CTEX

Anexo 1. Certificado de laboratorio

VERMICULITA 0,5/3 mm

DESCRIPCION

La Vermiculita es un mineral perteneciente a la familia de la mica. Durante un proceso llamado exfoliación, la vermiculita es sometida a un intenso calor expandiéndose hasta 7 veces respecto al mineral original.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

SiO ₂	34-43 %
Al ₂ O ₃	7-15 %
Fe ₂ O ₃	5-13 %
MgO	20-28 %
CaO	0.2-1 %
TiO ₂	0.01-0.1 %

PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad Aparente	110-140 Kg/m ³ (PLAB0701)
Densidad Compacta	125-175 Kg/m ³ (PLAB0702)
pH (en agua)	6-8 (PLAB0705)
Granulometría	(PLAB0717)
	<u>Tamiz (µm)</u>
	<u>% retenido</u>
	3150 < 3 %
	2000 10-35 %
	1400 25-45 %
	600 20-50 %
	Polvo 5-25%
Humedad	< 10 % (PLAB0713)
Calcinación	10-15 % (PLAB0718)
Temperatura de sinterización	1150-1250 °C
Temperatura de fusión	1200-1350 °C
Conductividad térmica	0.053 at 20°
Calor específico	0.2-0.25 kcal/kgk
Combustibilidad	No combustible
Asbestos	Libre de asbestos
Color	Marrón

[Anexo 2.](#) Ficha vermiculita expandida

FICHA TÉCNICA DE PRODUCTO

TEXBOND APL

Revisado/Aprobado por: Investigación y Desarrollo

Última revisión: 17/03/2017



DESCRIPCION GENERAL DEL PRODUCTO

TEXBOND APL es un homopolímero vinílico modificado en dispersión acuosa de carácter no iónico.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Aspecto	Líquido blanco viscoso		
Contenido de sólidos 135°C, 30 min	%	49	51
pH (directo)	Adim	4	5
Viscosidad Brookfield, 60 rpm	cps	16000	24000

Para aclaración de estas especificaciones y/o mayores datos técnicos favor contactar con nuestra área técnica y/o comercial.

APLICACIÓN Y ASPECTOS GENERALES

TEXBOND APL se usa como apresto textil para conferir acabado acartonado sobre todo tipo de sustratos.

TEXBOND APL se aplica generalmente por Foulard, luego de ser sometido a una dilución adecuada según el acabado deseado. TEXBOND APL debido a su alta concentración y viscosidad puede ser aplicado por rasqueta.

La concentración del baño de aplicación puede variar según el tacto requerido, el material a trabajar y del efecto del equipo usado.

TEXBOND APL es compatible con otros tipo de emulsiones acrílicas, tipo TEXBOND y NOVAPRINT y suavizantes del tipo MARVACOL®, con el fin de obtener diversos tipos de acabados.

TEXBOND APL puede ser usado en muchos tipos de baños, se recomienda hacer ensayos previos para verificar la compatibilidad de TEXBOND APL con los componentes usados en dicho baño. Luego de que el género textil ha sido sometido al baño, se debe garantizar un secado completo del mismo. Se recomienda una temperatura mayor a 90°C para garantizar una dureza adecuada de la película, mayores temperaturas de secado generarán mejor reticulación de la película y por ende un tacto más rígido.

La viscosidad de TEXBOND APL se puede disminuir con adición de agua.

Los productos fabricados a partir de dispersiones de polímeros generalmente requieren de la adición de Biocidas y/o agentes de preservación. El tipo y el alcance de la preservación dependerán del ambiente al que esté sometido el producto, la interacción con otros compuestos y las condiciones de almacenamiento y manejo. La compatibilidad con otros componentes y la eficacia del preservativo siempre debe ser probada en la formulación respectiva. En muchos casos deberá adicionarse biocida

RECOMENDACIONES BÁSICAS

Con TEXBOND APL tener en cuenta las medidas usuales de manejo de productos químicos. Evítese el contacto con las mucosas o contactos prolongados con la piel. La manipulación en grandes cantidades debe hacerse en lugar ventilado.

Tener siempre presente:

Página 1 de 2

[Anexo 3.](#) Ficha técnica del apresto TEXBOND APL

DISPERSIÓN ACRÍLICA	LIGANTE PARA ESTAMPACIÓN	 COLORQUÍMICA
	NOVAPRINT FSH	
VERSIÓN Nº4	FICHA TÉCNICA	

1. DESCRIPCIÓN DE PRODUCTO

NOVAPRINT FSH es una dispersión acrílica pura, auto reticulable, de tamaño de partícula fino.

2. CARACTERÍSTICAS DE LA DISPERSIÓN

PROPIEDAD	ESPECIFICACIÓN	METODO COLORQUÍMICA
Aspecto	Líquido blanco lechoso	I – L – 500
Sólidos (135°C, 1h)	40.0 % ± 1.0	I – L – 520
Viscosidad (Br, 60 RPM)	150 ± 100 cps	I – L – 536
pH	7.0 ± 0.5	I – L – 522

3. APLICACIÓN – Aspectos generales

El ligante NOVAPRINT FSH permite conseguir estampados particularmente suaves y de muy buenas solidez.

NOVAPRINT FSH es aplicable en pastas pigmentarias sin varsol y con bajo contenido del mismo. Cantidades de varsol superiores a 200 g/Kg. deterioran el tacto.

NOVAPRINT FSH puede usarse en estampación directa por reserva o por corrosión. En el caso de la estampación directa puede ser en color, en blanco cubriente, etc.

NOVAPRINT FSH contiene la dosis necesaria de biocida para su preservación durante el almacenamiento a las condiciones indicadas abajo (ver ALMACENAMIENTO). Si las condiciones no son adecuadas se deben poner dosis adicionales. La dosis adicionada es insuficiente para dar garantía de estabilidad en las mezclas finales de usuario con otros componentes y por ello se recomienda formularlas también con biocida.



[Anexo 5.](#) Estructura del tejido



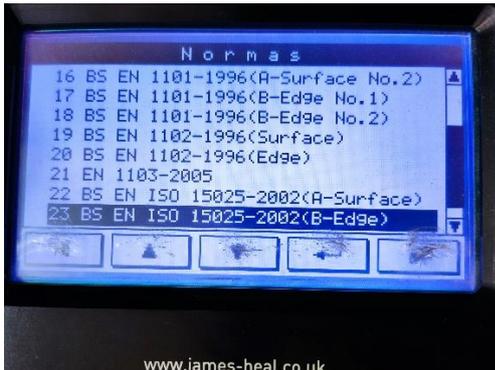
Anexo 6. Materiales



[Anexo 7.](#) Preparación de materiales



[Anexo 8.](#) Aplicación del acabado ignífugo



Anexo 9. Preparación del equipo y ensayos al fuego



[Anexo 10](#). Prueba de solidez al lavado