



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE “INGENIERA TEXTIL”

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA LLAMA DE UN ACABADO CON
BÓRAX EN CALCETINES 100% ALGODÓN PARA TRABAJO, POR EL MÉTODO DE
PULVERIZADO”**

ELABORADO POR:

ANDREA MARICELA CARLOSAMA CABASCANGO

DIRECTOR:

MSc. ELVIS RAÚL RAMÍREZ ENCALADA

IBARRA-ECUADOR

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE OBRA

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

DATOS DEL CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	045019334-7
APELLIDOS Y NOMBRES:	Carlosama Cabascango Andrea Maricela
DIRECCIÓN:	Carchi-Montúfar-San Gabriel
EMAIL:	amcarlosamac@utn.edu.ec
TELÉFONO MÓVIL:	0999759619

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA LLAMA DE UN ACABADO CON BÓRAX EN CALCETINES 100% ALGODÓN PARA TRABAJO, POR EL MÉTODO DE PULVERIZADO”
AUTOR:	Carlosama Cabascango Andrea Maricela
FECHA:	07/02/2023
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE SE OPTA:	Ingeniera Textil
ASESOR/DIRECTOR:	MSc. Elvis Raúl Ramírez Encalada

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, 07 de febrero del 2023

EL AUTOR

Firma:

A handwritten signature in black ink, consisting of several vertical strokes and a horizontal line crossing them, representing the author's name.

Andrea Maricela Carlosama Cabascango

C.I. 045019334-7



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

En calidad de Director del Trabajo de Grado presentado por la egresada **CARLOSAMA CABASCANGO ANDREA MARICELA**, para optar el título de **INGENIERA TEXTIL**, cuyo tema es **“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA LLAMA DE UN ACABADO CON BÓRAX EN CALCETINES 100% ALGODÓN PARA TRABAJO, POR EL MÉTODO DE PULVERIZADO”**, considero que el presente trabajó reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública por parte de los opositores que se designe.

En la ciudad de Ibarra, 07 de febrero del 2023

Msc. Elvis Raúl Ramírez Encalada

Director del Trabajo de Grado

DEDICATORIA

Al autor de la tesis por su esfuerzo, perseverancia y constancia, porque a pesar de las dificultades que se han presentado en el transcurso, las ha sabido sobrellevar de la mejor forma hasta conseguir su meta tan anhelada.

A mi querida madre María Victoria por su apoyo incondicional.

Andrea Carlosama

AGRADECIMIENTO

En primer término, quiero agradecer a Dios por darme la fuerza para seguir adelante.

A mis padres que han sido mi soporte y motivación para cumplir mis metas, pero en especial a mi querida madre María Victoria por todo el esfuerzo y sacrificio que ha hecho cada día para ayudarme a continuar con mis estudios.

A mi director de tesis MSc. Elvis Ramírez por brindarme sus conocimientos para la realización de esta investigación, por su tan apreciado tiempo y paciencia, pero sobre todo por sus valiosos consejos que hicieron que aprendiera a confiar en mis capacidades para alcanzar mis metas.

A mis docentes de la Carrera de Textiles por inculcarme sus amplios conocimientos a lo largo de mi proceso de formación; en especial al Ing. Fausto Gualoto por guiarme con sus conocimientos y experiencia durante el desarrollo de esta investigación.

A mi buena amiga Nathaly Clerque y a su apreciada madre Narcisa Enríquez por su bondadoso y gran corazón, por hacerme sentir parte de su familia, por cuidarme y estar pendiente de mí.

Por último, a todos los que me apoyaron y contribuyeron en el proceso de formación.

Andrea Carlosama

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
ÍNDICE DE CONTENIDOS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ANEXOS.....	13
RESUMEN.....	14
CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Descripción del tema	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Importancia del estudio	18
1.4. Objetivo General.....	19
1.5. Objetivos Específicos	19
1.6. Características del sitio del proyecto.....	19
CAPÍTULO II	21
2. ESTADO DEL ARTE.....	21
2.1. Estudios previos.....	21
2.1.1. Calcetería.....	21
2.1.2. Acabado ignífugo	22
2.1.3. Método de pulverizado.....	24
2.1.4. Bórax	25
2.1.5. Resina.....	26

2.2.	Marco legal.....	26
2.2.1.	Línea de Investigación de la Universidad Técnica del Norte.....	26
2.2.2.	Norma técnica ecuatoriana para vestimenta resistente al calor.....	27
2.3.	Marco conceptual	28
2.3.1.	Calcetería.....	28
2.3.1.3.	Máquinas calceteras.....	29
2.3.1.4.	Calcetines.....	30
2.3.2.	Aspectos generales de los acabados textiles	32
2.4.2.	Breve resumen de los procesos de aplicación de acabados textiles	37
2.4.3.	Información genérica del bórax.....	40
2.4.4.	Resinas de uso textil.....	41
CAPÍTULO III		44
3.	METODOLOGÍA	44
3.1.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN.....	44
3.2.	NORMAS	46
3.3.	FLUJOGRAMA DEL PROCESO.....	47
3.4.	PROCESO DE ACABADO IGNÍFUGO.....	49
3.4.1.	Parámetros y variables	50
3.4.2.	Materiales	50
3.4.3.	Equipos.....	52
3.4.4.	Bórax	54
3.4.5.	Resina.....	54
3.4.6.	Ácido fosfórico.....	55
3.4.7.	Proceso de aplicación.....	55
3.4.8.	Método de aplicación	55

3.5.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	56
3.6.	PRUEBAS DE LABORATORIO	60
3.6.1.	Prueba de propagación de la llama en tejidos	60
3.6.2.	Prueba de procedimientos de lavado y de secado domésticos	62
	CAPÍTULO IV.....	65
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
4.1.	RESULTADOS	65
4.1.1.	Tabla de la prueba de propagación de la llama en tejidos.....	65
4.1.2.	Tabla de la prueba de procedimientos de lavado y de secado domésticos.....	73
4.1.3.	Tabla general de resultados	74
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
4.2.1.	Análisis de la varianza.....	76
4.2.2.	Normalidad de los datos	78
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	79
	Capítulo V	82
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1.	Conclusiones.....	82
5.2.	Recomendaciones	83
5.3.	Referencias bibliográficas	84
5.4.	Anexos	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las Instalaciones de Ingeniería Textil UTN	20
Figura 2. Partes básicas del calcetín.....	31
Figura 3. Etapas generales de acción del calor sobre la celulosa.....	36
Figura 4. Estructura molecular del bórax.....	40
Figura 5. Flujograma general para la obtención de un acabado ignífugo en calcetines de trabajo	48
Figura 6. Flujograma muestral para la obtención de calcetines resistentes al fuego	49
Figura 7. Equipo para realizar ensayos ignífugos	53
Figura 8. Equipo empleado para realizar pruebas de apariencia después del lavado.....	53
Figura 9. Equipo empleado para el secado de muestras de laboratorio	54
Figura 10. Dispersión de valores.....	77
Figura 11. Resultados cuantitativos del ensayo ignífugo.....	79
Figura 12. Resultados de la concentración de bórax en función del tiempo	80
Figura 13. Resultados de la concentración de bórax en función de la longitud de quemado	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procedimiento de acabado y suavizado.....	23
Tabla 2. Clasificación de las máquinas circulares.....	29
Tabla 3. Características de un calcetín de trabajo	32
Tabla 4. Clasificación de los acabados textiles	33
Tabla 5. Durabilidad según los tipos de retardantes.....	35
Tabla 6. Resinas para aplicaciones textiles	41
Tabla 7. Descripción de los materiales.....	50
Tabla 8. Materiales.....	50
Tabla 10. Productos y auxiliares	52
Tabla 11. Receta para la obtención de un acabado retardante a la llama.....	57
Tabla 12. Dosificación para el acabado resistente a la llama.....	58
Tabla 13. Muestras para la prueba de retardo a la llama en vertical.....	58
Tabla 14. Muestras para las pruebas de retardo a la llama en horizontal.....	59
Tabla 15. Muestras para la prueba de lavado para el retardo a la llama en vertical.....	59
Tabla 16. Muestras para la prueba de lavado para el retardo a la llama en horizontal	59
Tabla 17. Requerimientos según la norma de retardo a la llama	60
Tabla 18. Muestras con acabado resistente a la llama para el primer ensayo.....	61
Tabla 19. Muestras con acabado resistente a la llama para el segundo ensayo.	61
Tabla 20. Muestras con 60 g/L.....	62

Tabla 21. Especímenes después del lavado para el primer ensayo.	63
Tabla 22. Especímenes después del lavado para el segundo ensayo.	64
Tabla 23. Especímenes después del lavado para el tercer ensayo.....	64
Tabla 24. Requerimientos de la norma de lavado	62
Tabla 25. Probetas sin acabado resistente a la llama, orientación longitudinal	65
Tabla 26. Probeta sin acabado resistente a la llama, orientación transversal.....	66
Tabla 27. Probetas con acabado ignífugo, orientación longitudinal	66
Tabla 28. Probetas con acabado ignífugo, orientación transversal	67
Tabla 29. Probetas con acabado ignífugo, orientación longitudinal	67
Tabla 30. Probetas con acabado ignífugo, orientación transversal	68
Tabla 31. Probetas con acabado ignífugo, orientación longitudinal	68
Tabla 32. Probetas con acabado ignífugo, orientación transversal	69
Tabla 33. Especímenes lavados sin acabado, orientación longitudinal.....	69
Tabla 34. Especímenes lavados sin acabado, orientación transversal.....	70
Tabla 35. Probetas con acabado retardante a la llama, orientación longitudinal	70
Tabla 36. Probetas con acabado retardante a la llama, orientación transversal	71
Tabla 37. Probetas con acabado retardante a la llama, orientación longitudinal	71
Tabla 38. Probetas con acabado retardante a la llama, orientación transversal	72
Tabla 39. Probetas con acabado retardante a llama, orientación longitudinal	72
Tabla 40. Probeta con acabado retardante a la llama, orientación transversal.....	73

Tabla 41. Especificación del procedimiento de lavado para probetas longitudinales y transversales.	73
Tabla 42. Datos cuantitativos del ensayo de resistencia a la llama.	75
Tabla 43. Resultados en función del tiempo	75
Tabla 44. Datos en función de la longitud	76
Tabla 45. Análisis de la varianza	77
Tabla 46. Normalidad de los datos	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado de laboratorio	90
Anexo 2. Preparación del acabado ignífugo	91
Anexo 3. Proceso del acabado retardante al fuego	92
Anexo 4. Resultados en el equipo flexiburn y lavado de probetas en wascator	93
Anexo 5. Ficha técnica del bórax	94
Anexo 6. Ficha técnica de la resina	95
Anexo 7. Ficha técnica del ácido fosfórico	96
Anexo 8. Ficha técnica del suavizante	97
Anexo 9. Ficha técnica del compresor	98
Anexo 10. Especificaciones técnicas de la pistola de pintar W-71	99

RESUMEN

En la investigación se evalúa la resistencia a la llama de un acabado con bórax en calcetines 100% algodón para trabajo, por el método de pulverizado; destinados a personas expuestas al fuego tales como bomberos, trabajadores industriales, expendedores de combustible, entre otros.

La investigación se desarrolló bajo los lineamientos metodológicos de la experimentación hasta obtener una receta óptima para un acabado ignífugo que consiste en: 40, 50 y 60 g/L de bórax, 25 g/L de resina, 0,3 ml/L de ácido fosfórico y 30 g/L de suavizante conjuntamente con 0,1 g/L de ácido acético como lo sugiere la ficha técnica, ya que el mismo reacciona mejor en un medio ácido. Para la aplicación se empleó el principio de pulverización mediante un compresor con una presión de 2 bar, un pick-up superior al 90% consiguiendo así una buena capa del producto sobre el calcetín. Posteriormente se utilizó los siguientes equipos: Horno de secado al vacío, el Flexiburn para determinar la propagación de la llama y el Wascator para determinar los procedimientos de lavado.

Los resultados se procesaron en el programa estadístico PAST4 obteniendo así una fiabilidad de los resultados; mediante las gráficas estadísticas se observa que las probetas con las concentraciones de 40, 50 y 60 g/L de bórax tienen en común que, a partir de la aplicación de llama durante 10 segundos, la llama no se propaga por lo que ninguna de ellas tiene post-combustión, sin embargo, debido a la concentración se pudo notar la diferencia en el tiempo de post-incandescencia y en la longitud máxima de quemado, de manera que, el espécimen que presentó mejores resultados es el que dispone de 60 g/L de bórax. Se determina que los calcetines que fueron sometidos a un acabado presentan resultados significativos en contraste con los que están en estado normal, ya que estos se queman en su totalidad, por lo tanto, el acabado ignífugo a base de bórax y resina si inhibe la llama y resiste hasta cuatro lavados caseros de acuerdo a los ensayos realizados, consiguiendo así artículos de calcetería aptos para personas que se exponen a riesgos contra el fuego.

Palabras clave: bórax, pulverizado, calcetín, ignífugo y resistencia.

ABSTRACT

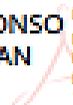
This research evaluates the flame resistance of a borax finish on 100% cotton work socks by using the spraying method; intended for people exposed to fire such as firefighters, industrial workers, and fuel dispensers, among others.

The research was developed under the experimental methodology guidelines to obtain an optimal recipe for a fireproof finish consisting of 40, 50, and 60 g/L of borax, 25 g/L of resin, 0.3 ml/L of phosphoric acid, and 30 g/L of softener together with 0.1 g/L of acetic acid as suggested in the technical data sheet, as it reacts better in acid medium. For the application, it was used the spraying principle by means of a compressor with a pressure of 2 bar, and a pick-up of more than 90%, thus achieving a good layer of the product on the sock. Subsequently, the following equipment was used: a Vacuum drying oven, Flexiburn to determine the flame spread, and Wascator to determine the washing procedures.

The results were processed by using the PAST4 statistical program to obtain reliable results; the statistical graphs show that the specimens with concentrations of 40, 50, and 60 g/L of borax have in common that, after applying the flame for 10 seconds, it does not propagate, so none of them have afterburning. However, due to the concentration, the difference in the afterburning time and in the maximum combustion length could be noticed, so the specimen that presented the best results is the one with 60 g/L of borax. It is determined that the socks that were subjected to a finish process show significant results in contrast to those ones in a normal state since these totally burn; therefore, the borax and the resin-based flame fireproof finish does inhibit the flame and resists up to four home-washing times according to the tests carried out, thus obtaining hosiery articles suitable for people who are exposed to fire hazards.

Keywords: borax, sprayed, sock, fireproof and resistance.

LUIS ALFONSO
PASPUEZAN
SOTO



Firmado digitalmente
por LUIS ALFONSO
PASPUEZAN SOTO
Fecha: 2023.01.26
10:33:46 -05'00'

Reviewed by:

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del tema

El proyecto a investigar surgió como una necesidad, dado que la mayoría de los usuarios que están expuestos al fuego no cuentan con prendas interiores con acabados ignífugos como los calcetines de trabajo, que ayudan a proteger la zona de los pies. En Ecuador las empresas calceteras emplean materiales textiles como acrílico, poliamida, poliéster, lycra, algodón y sus mezclas, pero los productos obtenidos no disponen de ningún acabado retardante a la llama que pueda contribuir a este problema.

El enfoque principal del producto está dirigido a los usuarios que se enfrentan a riesgos de incendio, por ejemplo: bomberos, trabajadores industriales, empleados de cocina, expendedores de combustible, corredores de autos, motociclistas, entre otros. Por esta razón, se realizó un acabado resistente al fuego en calcetines de algodón de medio rizo, ya que resultan adecuados para los usuarios mencionados anteriormente, debido a que tienen la particularidad de ser cómodos, frescos y acolchados en la planta del pie. Para la aplicación de bórax y resina se estableció concentraciones y variables adecuadas para las muestras, y se empleó el método de pulverizado para producir una capa superficial sobre el calcetín. Finalmente, se evaluó los resultados y se concluyó que la combinación de estos compuestos es apta para ser considerada como un acabado retardante a la llama en artículos de calcetería.

La investigación cuenta con las instalaciones necesarias para su desarrollo, por lo que se utilizó el Laboratorio Textil de la Universidad Técnica del Norte, el mismo que dispone de equipos y normas necesarias para la realización de pruebas, de tal forma que el análisis del acabado cumpla con ensayos normalizados y estandarizados. Las normas a utilizar son: ISO-15025:2000(E) para la determinación de la propagación de la llama en tejidos y la ISO 6330:2012 para procedimientos de lavado y de secado domésticos para los ensayos de textiles. Seguidamente, se evaluó los resultados con las respectivas normas, identificando las propiedades obtenidas en los calcetines con las diferentes cantidades; posteriormente, se determinó si la mezcla de bórax y resina resulta factible para la obtención de un acabado retardante a la llama en productos de calcetería. Por otro lado, con la obtención de buenos resultados se podría contribuir con pequeñas, medianas y grandes empresas

calceteras para la creación de nuevas líneas de producción que aún no han sido explotadas con la finalidad de innovar sus productos con precios accesibles para los usuarios.

1.2. Antecedentes

La industria textil dispone de áreas como hilatura, tejeduría, tintorería, acabados y confección. El área de acabados se encarga de otorgar propiedades tanto físicas como químicas con la finalidad de mejorar las características del sustrato textil; existen diversos acabados, que sin duda dependen del uso final de la prenda. El área de acabados hace uso de varios productos químicos que pueden producir gases tóxicos para el medio ambiente, por tal motivo, en esta investigación se utilizará bórax debido a que resulta un producto ecológico y económico. Por otro lado, las empresas calceteras emplean fibras textiles, que pueden ser altamente inflamables si estas no disponen de ningún acabado ignífugo.

El bórax ha sido un producto comercial importante desde la antigüedad. “Es un compuesto de óxido de sodio y óxido bórico, que posee muchas propiedades químicas y físicas únicas, que lo hacen útil para diversas industrias” (Dingley, 1931). Los compuestos de bórax son respetuosos con el medio ambiente y se utilizan con frecuencia en sectores relacionados con el vidrio, la cerámica y la agricultura; en la industria textil se emplean como agentes blanqueadores, reductores, antibacterianos y retardantes de llama, asimismo, se emplea en productos tales como jabones y detergentes (Buyukakinci & Tezcan, 2018). Además, se combina con cromo, cobre, magnesio, cobalto y níquel para la formación de compuestos de colores.

Los productos químicos retardantes de llama empleados para fibras celulósicas, “Se basan generalmente en seis elementos tales como, fósforo, antimonio, cloro, boro y nitrógeno” (Yildirim, 2019). Los sistemas retardadores de fuego que contienen boro han atraído la atención para el tratamiento de materiales de decoración de interiores porque son libres de halógenos, incoloros, inodoros, económicos, de baja volatilidad y mínima toxicidad para mamíferos. Además, una de las principales vías de desarrollo de los componentes incombustibles para el algodón ha sido la introducción de materiales ignífugos o restos dentro de moléculas de celulosa, no necesariamente por reacción química con ellos.

Otro uso significativo del bórax es en los tejidos de algodón antibacterianos, que se emplean principalmente para la confección de ropa utilizada para fines medicinales. Para realizar propiedades antibacterianas, los materiales se tratan con algunos agentes químicos como metales

y sales metálicas que causan preocupaciones para el medio ambiente; por lo tanto, se necesitan alternativas más limpias, por lo que el bórax se utiliza como un compuesto ecológico, y debido a las propiedades que dispone se emplea para mejorar el efecto antibacteriano, de igual forma se puede emplear en textiles biomédicos (Buyukakinci & Tezcan, 2018).

Debido a que el bórax se obtiene a partir del boro, al mezclarlo con el suelo puede mejorar la salud, el crecimiento y el éxito reproductivo de una planta. Al mismo tiempo, brinda resultados beneficiosos contra ciertas enfermedades; el bórax se disuelve fácilmente en el suelo y las plantas lo absorben rápidamente. También se puede usar para desinfectar y limpiar herramientas, guantes delantales y macetas de jardinería e incluso una pasta concentrada de bórax puede eliminar el óxido de las herramientas de jardín (Saleem et al., 2011). Además, al ser un compuesto derivado del boro, según “El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) no han clasificado al boro en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos” (ATSDR, 2010). Por lo que, resulta improbable que la población se exponga al aire contaminado por boro.

Debido a las propiedades que tiene el bórax se emplea para múltiples aplicaciones. Entre los usos más comunes para la industria textil, como agente retardante, lo que da paso a combinarlo con una resina para la realización de un acabado contra el fuego. Además, la utilización del producto en diferentes concentraciones no causaría ningún daño para las personas, de manera que no existiría ningún inconveniente al utilizar los calcetines con este tipo de acabado.

1.3. Importancia del estudio

Actualmente, los mercados textiles buscan innovar productos que cubran las necesidades de los consumidores, tal es el caso de los trabajadores que se exponen al fuego. Este tipo de usuarios no disponen de prendas interiores con acabados incombustibles; y debido a que en el Ecuador no se producen calcetines con acabados ignífugos, se pretende aportar con dichos usuarios realizando un acabado retardante a la llama, pulverizando bórax con resina sobre calcetines de algodón. Además, el compuesto principal a utilizar no es tóxico, lo que lo hace amigable con el medio ambiente.

Los hallazgos de este estudio aportarán a la sociedad, considerando que en la actualidad los acabados textiles desempeñan un papel importante en la vestimenta de trabajo. La demanda de los usuarios que se encuentran expuestos al fuego justifica la necesidad de realizar propuestas

innovadoras en prendas interiores tales como calcetines ignífugos, ya que pueden mejorar la vida de los consumidores. Así, los trabajadores que empleen este tipo de calcetines se beneficiarán de esta contribución ante cualquier incidente relacionado con el fuego. De este modo, se pueden generar más investigaciones sobre los acabados con bórax.

1.4. Objetivo General

- Evaluar la resistencia a la llama de un acabado con bórax en calcetines 100% algodón para trabajo, por el método de pulverizado.

1.5. Objetivos Específicos

- Investigar estudios previos realizados en artículos científicos, revistas actualizadas, libros, tesis entre otros, que se encuentren relacionados con el comportamiento al fuego del género de punto de algodón con acabados de bórax.
- Aplicar bórax con resina sobre calcetines 100% algodón en diferentes concentraciones mediante el método de pulverizado, recubriendo la superficie con una capa superficial ignífuga.
- Realizar ensayos de ignición, lavado y secado doméstico, empleando equipos y normas de laboratorio para la obtención de datos comparativos.
- Interpretar resultados estadísticos obtenidos de los ensayos normalizados, comprobando si la aplicación de bórax y resina es apta para convertir al calcetín de algodón en ignífugo.

1.6. Características del sitio del proyecto

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura, en los laboratorios que dispone la planta textil perteneciente a la Universidad Técnica del Norte, la misma que se encuentra ubicada en el barrio de Azaya, calles Morona Santiago y Luciano Solano Sala (0°22'40.7"N78°07'24.6"W). La parte práctica de la investigación se realizó en las instalaciones mencionadas, ya que cuenta con los equipos requeridos para las pruebas, asimismo, se dispone de las normas para realizar los respectivos análisis.

Figura 1.
Ubicación geográfica de las Instalaciones de Ingeniería Textil UTN



Fuente: Google Maps (2022).

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Estudios previos

En este apartado se mencionan las investigaciones realizadas con anterioridad y que están relacionadas con el tema abordado, de manera que puedan contribuir al enriquecimiento de la información y ampliar los conocimientos esenciales asociados al mismo. Los conceptos a investigar servirán como base para el avance de la presente investigación, ya que a partir de ellos se identificarán similitudes, diferencias, fallos y aciertos realizados por otros investigadores, lo que ayudará a no repetir técnicas fallidas ya estudiadas. A partir de la información obtenida, se podrá determinar el tipo de estructura, tamaño y diseño del calcetín, establecer parámetros y variables; esto también da paso a experimentar con recetas similares hasta llegar a un procedimiento óptimo de aplicación, así como identificar el tipo de pulverizado más adecuado para suministrar bórax y resina.

2.1.1. Calcetería

2.1.1.1. Generalidades del tejido de punto

La producción de calcetería se centra en la utilización de máquinas circulares de pequeño diámetro para la creación de artículos de punto que se emplean para cubrir los pies y las piernas. Estas máquinas son configuradas para realizar operaciones mecánicas y cambios de longitud de puntada que son necesarios para la creación de las medias o calcetines, posterior a esto también se requiere operaciones de acabado o de confección. Los tejidos de punto que se emplean en calcetería deben conferirles a los usuarios ciertas características de funcionalidad, es importante saber cuál es la finalidad de los mismos de manera que se pueda seleccionar el tipo de ligamento, materia prima, diseño y tamaño (Agustín et al., 2019).

A la hora de seleccionar el tipo de ligamento, hay que tener en cuenta el uso final del mismo. En el análisis de tres clases de tejidos de punto, jersey sencillo, rib 1x1 y un tejido de rizo, el autor menciona que el tejido de rizo presenta mejores propiedades a diferencia de los otros dos y el que obtuvo la menor resistencia al fuego fue el jersey sencillo (Alam, 2021). Según esta investigación, no es recomendable utilizar tejidos de jersey simple debido a que su combustión es más rápida. Por otro lado, se deben utilizar tejidos más densos siempre que sea aceptable, puesto que cuanto mayor

sea la densidad del tejido, menor será su combustión, asimismo, hay que procurar evitar el aumento de vellosidad en el tejido, ya que se vuelve más inflamable.

2.1.1.2. Calcetines de trabajo

Los calcetines se consideran una parte esencial de la vestimenta y se requiere que sean de alta calidad y económicos; en la medida de lo posible, deben fabricarse para incluir propiedades de funcionalidad, en particular para contribuir a la seguridad de los trabajadores. Los calcetines elaborados con hilos mercerizados ofrecen mayores valores de resistencia a la abrasión (Özdül et al., 2009). Los calcetines de trabajo se llevan durante varias horas, por lo que deben ser cómodos, frescos y deben mantenerse durante un largo periodo de tiempo.

Los calcetines de trabajo se fabrican especialmente con fibra de algodón por sus propiedades de absorción, en algunos casos cuentan con refuerzos de nylon en el talón y en la punta para conferirles resistencia. Los textiles de algodón cuentan con buenas características para la elaboración de prendas interiores, sin embargo, los tejidos elaborados con esta fibra sin tratar se queman fácilmente con una llama de alta velocidad y son propensos a ser atacados por hongos y bacterias (Hao et al., 2021). Para mejorar sus propiedades de funcionalidad requieren de la adición de algún compuesto químico, de acuerdo al uso final del producto, de manera que aporten con la seguridad del trabajador.

2.1.2. Acabado ignífugo

2.1.2.1. Reseña de los acabados

La resistencia a la combustión es una de las propiedades más ventajosas que se pueden conferir a las fibras y tejidos de algodón. La vestimenta de trabajo resistente al fuego es elaborada con algodón debido a las propiedades de confort y frescura que brinda esta fibra textil. Para realizar un acabado funcional en los géneros de punto, se emplean agentes reticulantes para incorporarlos en los tejidos de algodón con la ayuda de catalizadores ácidos, seguidos de un secado y curado a altas temperaturas (Lam et al., 2012). Las características técnicas que pueden alcanzar los tejidos de punto mediante el uso de diversas sustancias químicas se toman en consideración como una necesidad.

En la aplicación de productos retardantes a la llama duraderos, semi durables y no duraderos, para la evaluación de la resistencia al fuego de un tejido de punto de algodón, la

temperatura utilizada para el secado fue de 120°C y para el curado se mantuvo constante a 150°C (Ozcan et al., 2006). El tiempo de curado es una variable significativa para el acabado de los tejidos, debido a que, si no se realiza, los productos utilizados para el acabado se eliminan en la fase de lavado.

La introducción de retardantes de llama puede impedir o retrasar la aparición de una flama y reducir la velocidad de propagación de la misma en el textil (Islam & Van de Ven, 2021). La preparación de muestras de un estudio crítico de los efectos ignífugos en diferentes tejidos de punto menciona que los especímenes se tratan primero con un blanqueo convencional utilizando un proceso de agotamiento. A continuación, se utilizó la siguiente receta: 1,5 g/l agente humectante, 1,5 g/l agente secuestrante, 4 g/l sosa cáustica, 1,5 g/l detergente, 1,5 g/l estabilizador, 6 g/l agua oxigenada. La relación de baño 1:20, y temperatura 100 °C durante 45 minutos (Alam, 2021).

En otra investigación, se realizaron pruebas en tejidos de punto de algodón, jersey simple tratado con un acabado ignífugo y un suavizante, donde se obtuvieron mejores propiedades mecánicas, tales como: tracción, flexión, corte, compresión, superficie, estallido, caída y propiedades de costura (Mamalis et al., 2001). Para el proceso de acabado utilizaron las siguientes etapas: (Ver **Tabla 2**).

Tabla 1.
Procedimiento de acabado y suavizado

Acabado	Pick-up	Temperatura	Tiempo	pH	Álcali
Impregnación con la solución del acabado ignífugo	80 %	-	-	-	-
Secado	-	130 °C	30 min	-	-
Neutralizado con sosa cáustica	-	80 °C	15 min	10.5	10 g/L
Enjuague en frío	-	-	10 min	8.5	-
Suavizado	% spf	Temperatura	Tiempo	R:B	pH
Agente suavizante	3-4	40 °C	20 min	1:5	5-5.5

Fuente: Mamalis et al., (2001).

2.1.2.2. Tratamientos previos para un tejido celulósico

Los tejidos de punto adquieren mejores propiedades retardantes a la llama cuando se someten a un pretratamiento. La investigación citada menciona el uso de un tejido de algodón expuesto a un proceso de blanqueo y mercerización; y un acabado ignífugo empleando el método de plasma. Los tejidos de algodón que fueron previamente tratados, y utilizaron la técnica por plasma tienen un mejor comportamiento retardante al fuego en comparación con los que fueron aplicados directamente con sustancias ignífugas comerciales (Galih et al., 2020).

La receta para realizar un pretratamiento en tejido de punto 100% algodón, es la siguiente: “1,5 g/L agente humectante, 1,5 g/L agente secuestrante, 4 g/L sosa cáustica, 1,5 g/L detergentes, 1,5 g/L estabilizadores, 6 g/L peróxido de hidrógeno, relación de baño 1:20, y temperatura 110 °C durante 45 minutos” (Alam, 2021).

2.1.2.3. Aumento de combustión

La combustión aumenta en los tejidos de punto cuando se tratan con suavizantes, siliconas, antiespumantes y agentes antipilling. Según investigaciones anteriores, no se recomienda el uso de siliconas y suavizantes, ya que tienden a aumentar la velocidad de combustión aproximadamente en un 50% para los tejidos previamente blanqueados; y la aplicación de agentes antiespumantes en los textiles de algodón de punto aumenta en un 50 y 70% (Ozcan et al., 2006).

2.1.3. Método de pulverizado

La técnica de recubrimiento por pulverización se utiliza ampliamente en diversos campos industriales. En investigaciones anteriores en donde se realizó el pulverizado a escala de laboratorio para la deposición de nanopartículas de plata (AgNPs) destinadas a la realización de un acabado antibacteriano, tomaron en cuenta dos propósitos, (1) optimizar el proceso máximo de deposición de plata y la minimización del desperdicio y (2) evaluaron la liberación de AgNPs. Las mediciones se llevaron a cabo dentro y fuera de una cámara de pulverizado, calcularon la eficiencia de deposición y encontraron que esta mejoraba al aumentar la presión de pulverizado a 2 bar, pero esta disminuye al aumentar el número de pulverizadores en funcionamiento, lo que demuestra que el sistema de pulverización múltiple es menos eficaz que el sistema de pulverización única. La emisión de AgNPs suministradas fuera de la cámara presentaron un aumento de concentración de partículas inferior al 10% en comparación con las depositadas dentro de la cámara. Por otro lado,

los resultados de esta investigación sugieren que las condiciones experimentales del proceso de recubrimiento por aspersión no es una fuente grave de exposición para los trabajadores. Esta técnica, que proporciona un excelente recubrimiento en una variedad de superficies de diferentes formas, suele formar parte de los sistemas de producción en línea (Trabucco et al., 2021).

El pulverizado se emplea para producir una capa fina de un líquido. Alam (2021) describe el tratamiento de diferentes estructuras de punto tratadas con Perkoflam HFC y empleando una botella atomizadora. El proceso de acabado ignífugo fue ejecutado en un solo paso mediante la técnica de pulverización empleando una botella de spray, la aplicación se realizó de forma gradual, el secado se mantuvo por 20 minutos, y se realizó la prueba de combustión vertical para la estabilidad de diferentes tejidos estructurados de punto. Las muestras de tejido de punto tratadas mostraron un elevado índice de oxígeno limitante (IOL). A partir de esta investigación, se puede deducir que los productos químicos retardantes que se encuentran en forma líquida obtenidos de las casas comerciales también se pueden aplicar de forma directa y bajo el principio de pulverizado mediante una botella atomizadora es posible realizar una capa superficial en el tejido.

2.1.4. Bórax

En varias investigaciones se menciona que el bórax se mezcla con otros productos químicos para aumentar su poder ignífugo y se emplean especialmente como retardantes de llama para la celulosa. Por ejemplo, la combinación de alumbre, bórax y vitriolo propuesto en la patente británica concedida por Obadiah WYLD EN 1735 (Pal et al., 2020). Asimismo, Gay Lussac desarrolló investigaciones para tejidos ignífugos utilizando la mezcla de amonio, cloruro de amonio y bórax. De la misma forma, existen estudios realizados con bórax, borato de zinc y ácido bórico (Yildirim, 2019). También están las mezclas tradicionales de bórax con ácido bórico y sistemas similares de sales generadoras de ácido, estos “actúan en la fase de condensación promoviendo la formación de carbón y en algunos casos imparten revestimientos vítreos impermeables frente al avance de llama” (Pal et al., 2020, p.3). Los compuestos que contienen boro se emplean para mejorar los tejidos de algodón, estos actúan por la liberación escalonada de agua y por la formación de una capa vítrea que protege la superficie del tejido. Aunque estudios mencionan que los acabados que se derivan del boro no son estables, pero al disponer de un bajo costo y al ser productos químicos amigables con el medio ambiente hacen que estos productos sean una alternativa para la utilización de acabados retardantes de llama en la industria textil.

2.1.5. Resina

En la fase de producción de los textiles de algodón retardantes de llama, se añaden agentes reticulantes durante sus formulaciones de acabado para mejorar la resistencia al fuego y la durabilidad del acabado. Los agentes reticulantes que se emplean para la fibra de algodón suelen estar basados en el formaldehído, como el trimetilol melamina (TMM) y la dimetilol urea (DMU) (Uddin, 2013). Los tejidos de algodón tratados con los compuestos combinados anteriormente mencionados soportan hasta treinta lavados, limpiezas en seco u otros procedimientos de mantenimiento. Sin embargo, esta formulación de acabado está asociada a la liberación de formaldehído (Katović et al., 2012), de manera que existe un gran debate sobre los impactos ambientales, además la liberación de formaldehído puede causar problemas leves contra la salud.

Los investigadores han intentado modificar o desarrollar nuevos reactivos de reticulación, en base a Van der Veen & de Boer (2012), los reactivos de bajo contenido en formaldehído contienen el grupo N-metilol, pero estos compuestos pueden liberar formaldehído eventualmente. Por tal motivo, se han propuesto algunos reactivos de formaldehído, como el ácido tricarbóxico de butano (BTCA). Sin embargo, este es más caro que los reactivos de formaldehído y tiene una eficiencia limitada en el lavado y disminuye las propiedades mecánicas del tejido de algodón.

Los retardantes de llama “a veces se aplican con una resina de melamina metilada para aumentar la unión o fijación del agente a la celulosa” (Rearick, 2000, p.6), dando como resultado un mejor acabado ignífugo. A su vez, Ozcan et al., (2006) mencionan que cuando se aplica una resina se crea un acabado incombustible semi-durable.

2.2. Marco legal

En este apartado se menciona la norma, la línea de investigación y la agencia de sustancias tóxicas que servirán como fundamentación para el desarrollo de la presente tesis.

2.2.1. Línea de Investigación de la Universidad Técnica del Norte

Las propuestas de los proyectos de investigación científica deben estar relacionados con las diez líneas de investigación vigentes, aprobadas por el honorable consejo universitario, UTN (2021) afirma:

1. Producción Industrial y Tecnología Sostenible
2. Desarrollo Agropecuario y Forestal Sostenible

3. Biotecnología, Energía y Recursos Naturales Renovables
4. Soberanía, Seguridad e Inocuidad Alimentaria Sustentable
5. Salud y Bienestar Integral
6. Gestión, Calidad de la Educación, Procesos Pedagógicos e Idiomas
7. Desarrollo Artístico, diseño y publicidad
8. Desarrollo Social y del Comportamiento Humano
9. Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico
10. Desarrollo, aplicación de software y cyber security (seguridad cibernética)

La presente investigación se encuentra apegada a la línea de investigación de Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico.

2.2.2. Norma técnica ecuatoriana para vestimenta resistente al calor

La ropa resistente a la llama tiene la finalidad de asegurar a los empleados, de manera que se encuentren protegidos mientras trabajan en áreas en donde existen riesgos de incendio o arco eléctrico. De acuerdo con:

4.1.7. Los índices de protección en esta norma se refieren a conjuntos de vestimenta, constituidos por la ropa exterior contra incendios, y ropa interior de algodón. Siempre que sea posible, debe suministrarse toda la ropa al usuario (exterior e interior), previo ensayo del conjunto completo. En ciertas circunstancias, el empleo de otras ropas interiores o sobrepuestas por el usuario, reducirán la eficiencia del conjunto al retener el calor producido por el cuerpo del usuario. (NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 803:2013 Primera Revisión EQUIPO CONTRA INCENDIOS. VESTIMENTA RESISTENTE AL CALOR. REQUISITOS. Primera Edición, 2013, p.2)

Esto indica que no se debe emplear materiales sintéticos para la ropa interior de los trabajadores que se exponen a riesgos contra el fuego, debido a que los materiales tienden a derretirse y se adhieren a la piel causando lesiones térmicas.

2.2.3. Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR)

El bórax es un derivado del boro, por lo que es necesario determinar si es perjudicial para el medio ambiente. “El boro se encuentra en el ambiente combinado principalmente con oxígeno

en compuestos llamados boratos” (ATSDR, 2010, p.1). La probabilidad de que este producto químico cause cáncer es muy baja, tal y como afirman el DHHS, el IRAC y la EPA. Asimismo, los estudios realizados en animales, cuando están expuestos al ácido bórico en su alimentación a lo largo de su vida, no muestran ninguna evidencia de cáncer. En base a este argumento, el bórax no resulta cancerígeno, por lo que se deduce que la aplicación de bórax en sustratos textiles no podrá causar daño hacia el consumidor final.

2.3. Marco conceptual

En este apartado se considera información esencial para que los lectores puedan comprender el enfoque de la presente investigación. Aquí se detallan estudios de referencia y trabajos fundamentales necesarios para ser utilizados como base para la comprensión del tema.

2.3.1. Calcetería

2.3.1.1. Descripción general de los tejidos de punto

Los tejidos de punto se producen por el cruce de hilos que constituyen una malla, en donde la estructura básica es el bucle o malla. “El tejido de punto está constituido por un hilo continuo que se entrelaza consigo mismo formando bucles” (Puente, Esparza & INTEX, 2019, p.88). Se dividen en tejidos de punto por trama o urdimbre, de manera que producen tejidos con diferentes características, diseños y propiedades. La diferencia entre el tejido de punto por trama y por urdimbre, se da por la forma en el que el hilo es suministrado en las agujas. El tejido de punto por trama aprovecha la técnica del uso de una fibra, siendo así que sólo se requiere de una fibra para construir las puntadas; y las agujas se mueven por separado mientras que las de urdimbre se mueven al mismo tiempo. Por consiguiente, todas las agujas necesitan la fibra textil al mismo tiempo, por esta razón el hilo se suministra con la ayuda de plegadores de urdimbre (Eichhoff et al., 2013).

Para la realización de estos tejidos se emplean máquinas de simple o alta tecnología, tales como: rectilíneas, circulares de grande y pequeño diámetro. Las máquinas rectilíneas se emplean para tejidos de punto abiertos, mientras que las circulares se utilizan para tejidos tubulares, con la diferencia de que las circulares de gran diámetro se emplean para la realización de telas de vestir y las de pequeño diámetro se emplean para calcetería. Independientemente de la máquina con la que se esté realizando el tejido se puede variar la densidad y la longitud del bucle de manera que se

puede lograr una amplia gama de combinaciones estructurales. Además, la estructura de estos tejidos los vuelve elásticos y se caracterizan por recuperar fácilmente su forma (Ver **Tabla 2**).

Tabla 2.

Clasificación de las máquinas circulares

Máquina circular	Rango de diámetro (in)	Usos
Pequeño diámetro	3-6	Calcetería
Mediano diámetro	8-22	Tejidos de tamaño corporal
Gran diámetro	24-40	Tejidos amplios tubulares

Fuente: Amsaveni (2018).

2.3.1.3. Máquinas calceteras

La producción de calcetería se centra exclusivamente en el uso de máquinas circulares de pequeño diámetro. Las máquinas calceteras se diferencian de las circulares de gran diámetro porque no tejen un tejido tubular continuo sino calcetines individuales. Los calcetines se realizan en máquinas como:

Máquinas monocilíndricas y bicilíndricas, así como la máquina monocilíndrica con disco. Las técnicas de transferencia utilizadas en máquinas monocilíndricas con dial permiten además producir una variedad de patrones. Estas máquinas se ofrecen con diámetros típicos de 3,5 a 6 pulgadas, en los que, según el calibre, se emplean agujas con un grosor de 0,26 mm a 1,55 mm. Las máquinas están trabajando con uno a cuatro alimentadores, dependiendo de las opciones del patrón. (GROZ-BECKERT, 2022)

Existen productos finos realizados de hilos multifilamento en máquinas de tejer de 24 a 40 agujas por 25,4 mm, como medias y leotardos finos de mujer, en cambio los tejidos gruesos hechos de hilos hilados en máquinas de tejer de 5 a 24 agujas por 25,4 mm, tales como, calcetines hasta la rodilla y pantimedias gruesas. Los calcetines para hombre, mujeres y niños con estructura acanalada o de punto se tejen en máquinas de dos cilindros con un talón y una puntera, que luego se cierran por medio de una costura. También, están los calcetines fabricados con sistemas de alta tecnología que por lo general no llevan costuras. “La mayoría de los productos de calcetines sin costura se fabrican en máquinas de tejer circulares de pequeño diámetro, en su mayoría utilizan galga (E) 3,5 y 5,0 o pasos de aguja entre 76,2 y 147 mm” (Semnani, 2011, p.175).

2.3.1.4. Calcetines

Los calcetines ayudan a mantener los pies cómodos y calientes. “Los calcetines son un tipo de tela fabricada mediante la técnica del punto, que cubre el pie y la pierna de forma completa o parcial” (Gianchandani, 2014, p.1). Por lo tanto, se utilizan principalmente para cubrir las extremidades inferiores, piernas y pies. Hay muchos calcetines que se utilizan para fines casuales, deportivos y medicinales, en la actualidad se crean calcetines con funcionalidades especiales como calcetines antimicrobianos e ignífugos. En el mercado textil se encuentran disponibles en varios tamaños y colores, pero por lo general se eligen de acuerdo al material, además, es muy significativo en su etapa de producción debido a que se determina como un factor de calidad y rendimiento muy importante.

2.4.1.4. Importancia

Los calcetines son una parte importante de uso de los pies, trabajan conjuntamente con el pie y con la cavidad del zapato, afectan en gran medida al confort térmico y la humedad del pie. Los calcetines con una buena comodidad térmica y de humedad pueden mantener la piel seca durante mucho tiempo y permitir que la piel respire libremente. De lo contrario, el sudor epidérmico no puede transmitirse en tiempo, lo que no favorece la salud y el bienestar del pie. El confort térmico y de humedad de los calcetines está relacionado en gran medida con los materiales de las fibras. Actualmente, los calcetines que se venden en el mercado contienen una pequeña cantidad de hilos elásticos para que los calcetines queden bien ajustados (Hao et al., 2021).

2.4.1.5. Material

El material se elige de acuerdo al clima y las condiciones de temporada que también son importantes a la hora de comprar o fabricar calcetines. Para su fabricación se utilizan principalmente fibras de algodón, acrílico, lana, poliamida, y poliéster (Özdül et al., 2009). Al seleccionar el material y diseñar la estructura de los calcetines es importante tener en cuenta que la circulación de la sangre no se vea afectada o resistida (Gianchandani, 2014). Para la selección de calcetines, también es significativo el aspecto general porque hacen que el usuario se sienta cómodo al utilizarlo.

2.4.1.6. Partes del calcetín

Figura 2.

Partes básicas del calcetín



Fuente: Adaptado de Amazon (2016).

2.4.1.7. Tipo de talón

El talón es la parte que cubre la parte posterior del pie por debajo del tobillo. Se trata de una pieza que se ajusta entre el ante pie y la caña, es la responsable de que la parte tubular del calcetín cambié de dirección.

- Talón verdadero
- Talón falso
- Talón en Y

2.4.1.8. Rizo o acolchado

El rizo se encuentra en el interior del calcetín, ayuda a mantener al pie con mayor comodidad, cuando se realiza rizo completo todo el calcetín se vuelve térmico.

- Rizo estándar
- Rizo completo
- Medio rizo

2.4.1.9. Usos de los calcetines

Los calcetines son utilizados para diferentes propósitos, por ejemplo: calcetines pantuflas, calcetines medicinales, calcetines de tubo, calcetines de trabajo, calcetines con puños, calcetines tobilleros, calcetines de puño bajo, calcetines antibacterianos, calcetines de apoyo, calcetines terry o acolchados, calcetines térmicos, entre otros. A continuación, se detalla el calcetín de trabajo o también conocidos como calcetín de tripulación o calcetines para botas.

2.4.1.10. Calcetín de trabajo

Estos calcetines cubren hasta la mitad de la pantorrilla y pueden llevarse rectos, con puños o doblados. Están disponibles en diferentes texturas y pueden modificarse como calcetines de trabajo o calcetines para botas añadiendo un refuerzo y una amortiguación adicional para una mayor protección en el calzado de uso intensivo (Gianchandani, 2014). Están diseñados para ser duraderos y resistentes, además de cómodos, por lo que se utilizan durante largas jornadas de trabajo, normalmente de 10 a 12 horas diarias (Ver **Tabla 3**).

Tabla 3.

Características de un calcetín de trabajo

Técnicas	Confort
-El diseño y la fibra utilizada deben tener la capacidad de absorber la humedad fácilmente. -Deben tratarse con acabados sanos y libres de infecciones a la piel. -La estructura debe ser suficiente para mantener el pie ventilado y evitar olores desagradables.	-La estructura o diseño debe ser adecuado para que el pie se sienta cómodo. -Deben realizarse de acuerdo a las condiciones de temporada (confort térmico). -Deben tener un patrón y diseño similar en ambos lados (izquierdo-derecho). -Los calcetines que emplean diferentes tipos de hilo deben garantizar la comodidad.

Fuente: Gianchandani (2014).

2.3.2. Aspectos generales de los acabados textiles

Un acabado textil es la última etapa en la cadena de producción industrial, “se puede definir como todos los procesos químicos o mecánicos, empleados posteriormente a la coloración textil, que implanten funcionalidad adicional o estética al material textil” (Goswami, 2013, p.1). En cambio, en base a otros autores, “El acabado textil se lleva a cabo convencionalmente mediante un proceso típico de curado en seco utilizando soluciones acuosas de los productos químicos necesarios” (Joshi & Butola, 2013, p.138). El ennoblecimiento se determina como una etapa final

de preparación de la tela, con el propósito de cambiar la calidad del tejido antes de ser distribuida hacia los consumidores. Los acabados textiles se pueden clasificar de la siguiente forma (Ver **Tabla 4**).

Tabla 4.
Clasificación de los acabados textiles

Clasificación	Tipo	Característica	Ejemplos
Propósito	Estético	-Modifican el aspecto o tacto de los tejidos.	-Mercerización, reblandecimiento, suavizados, llenado, compactación de lana, plisado, endurecimiento, etc.
	Funcional	-Relacionados con el rendimiento. -Mejoran múltiples propiedades funcionales.	-Resistencia a las arrugas, insectos, cargas estáticas, microorganismos, al pilling, abrasión y desgaste; retardante a la llama, repelencia al agua, etc.
Durabilidad	Temporal	-Se mantiene hasta un lavado. -Se subdividen en: puro, medio y pesado.	-Almidonados, calandrado, repujado, suavizado, agentes de relleno, humectantes, abrillantadores ópticos, etc.
	Semipermanente	-Durable hasta 5 a 10 lavados. -Su vida útil depende del acabado utilizado en la tela.	-Calandrado schreiner (brillo similar a la seda).
	Permanente	-Dura generalmente de 20 a 30 lavados -No es afectado bajo las condiciones de uso. -Hecho por tratamientos químicos.	-Sanforizado, acabados con resina, acabados a prueba de llama, agua y polillas, etc.
Calidad	Mecánico	-Se dan mediante disposiciones mecánicas.	-Calandrado, gofrado, efecto crepé, apergaminado, cepillado, sanforizado, efecto moaré, etc.
	Químicos	-Implican la deposición de productos químicos o una reacción química en el tejido.	-Mercerización, apergaminado, suavizados aniónicos, tratamiento de siliconas para efectos hidrofóbicos, acabados resistente a las arrugas, a la llama, antimicrobianos, antiestáticos, etc.

Fuente: Hasin (2020).

2.3.2.1. Acabados resistentes a la llama

Los acabados ignífugos proporcionan a los textiles una característica importante de funcionamiento. “El término ignífugo, resistente a la llama o retardante de llama, se utiliza para describir a los tejidos que no soportan la combustión y no son autoextinguibles. En caso de incendio accidental, este tipo de tejidos no contribuyen a la propagación de la llama” (Choudhury & Kumar, 2017, p.201). Asimismo, un retardante de llama puede definirse como “una sustancia incorporada o un tratamiento aplicado a un material que suprime o retrasa la combustión en determinadas condiciones” (Sauca, 2012, p.6). Los artículos con acabado retardante de llama se aplican en una gran variedad de productos textiles, ya que proporcionan protección a bomberos, trabajadores industriales, pilotos de carreras de autos y diversas industrias que tienen necesidades de textiles ignífugos e incluso productos para el hogar como cortinas y tapicería.

2.3.2.2. Tipos de retardantes

Los retardantes de llama son sustancias químicas que se añaden a los materiales combustibles para hacerlos resistentes al fuego. Están diseñados para minimizar el riesgo de incendio en caso de contacto con una pequeña fuente de calor o un fallo eléctrico. Si el material textil se enciende, el retardador de llama frena la combustión y evita que el fuego se extienda a otros elementos. Existen varios tipos de compuestos y polímeros que se utilizan como retardadores de llama para materiales textiles, como los ácidos inorgánicos, las sales ácidas, y los hidratos, los compuestos organofosforados y organobromados, las sales de antimonio, entre otros.

En base a Choudhury & Kumar (2017) se pueden clasificar en tres categorías:

- ✓ Retardadores de llama primarios a base de fósforo y halógenos: los derivados del fósforo actúan normalmente en fase sólida o condensada, mientras que el halógeno (cloro o bromo) es activo en fase gaseosa.
- ✓ Los retardantes de llama utilizan sustancias como el nitrógeno y el antimonio para los retardantes de llama basados en el fósforo y el halógeno, respectivamente los agentes en sí mismo no son retardantes de la llama. Sin embargo, la combinación de compuestos (fósforo/nitrógeno y antimonio/halógeno) resultan duraderos por naturaleza.
- ✓ Los retardantes físicos o complementarios incluyen el trihidrato de alúmina, los compuestos de boro, los silicatos y los carbonatados (p.201).

2.3.2.3. Durabilidad del acabado

Los acabados en función de la durabilidad se subdividen en tres, temporal, semi temporal y permanente, cada uno de estos depende de los productos químicos a utilizar y el proceso por el cual son aplicados (Ver **Tabla 5**).

Tabla 5.

Durabilidad según los tipos de retardantes

Permanente	Semipermanente	Temporal
-Formados por grupos funcionales, fosfatos, fosfanos, amidofosfanos, y sales de fosfonio.	-Se obtienen utilizando sales insolubles de cationes y aniones anfóteros-estranatos, tungstanatos, aluminatos, boratos y fosfatos de zinc, estaño, aluminio y óxidos metálicos fácilmente reducibles (Sn, Fe, Ti, Cr, Ce, Bi, W, As, Si).	-Generalmente son compuestos inorgánicos solubles en agua que se eliminan fácilmente por agua, lluvia o la transpiración. -Se basan en grupos derivados del boro, ácido bórico, a veces mezclados con fosfato de amonio, urea y fluoruros alcalinos forman una capa protectora en la combustión.

Fuente: Schindler & Hauser (2004).

2.3.2.4. Retardantes para celulosa

Los retardantes para celulosa se dividen en cuatro grupos principales: retardantes de llama inorgánicos, organofosforados, los que contienen nitrógeno y los orgánicos halogenados. Pero a su vez, también se toma en cuenta contribuir con el medio ambiente, por lo tanto, se necesita nuevos retardantes de flamas como materiales no halogenados y no tóxicos (Yashovardhan & Deshpande, 2014). La mayoría de estos productos reaccionan químicamente, y se utilizan ampliamente en la industria textil para convertir tejidos de algodón resistentes al fuego.

Para retardar la llama en fibras celulósicas se emplean sales inorgánicas, tratamientos de sulfato de amonio y bórax. Actualmente se usa ácido bórico y bórax, resulta una mezcla eficaz para el algodón en una adición del 10% de sólidos. También están las sales de amonio de los ácidos fuertes, especialmente el ácido fosfórico, son particularmente útiles como retardantes de llama no duraderos. Por otro lado, están los retardantes duraderos, se basan en sistemas químicos que contienen fósforo y nitrógeno, ya que estos reaccionan con la fibra o forman estructuras reticuladas. Por ejemplo: uno de los compuestos más importantes es el cloruro de tetrakis (hidroximetil)

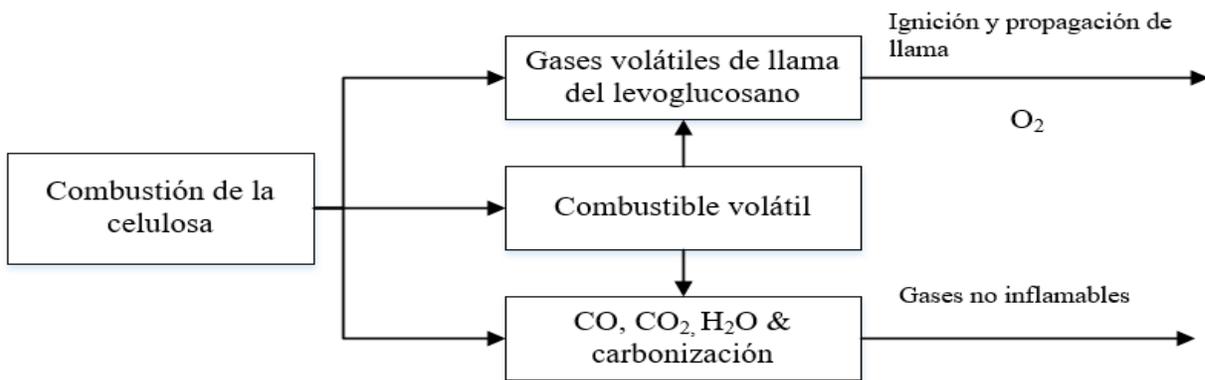
fosfonio (THPC), hecho de fosfina, formaldehído y ácido clorhídrico. El THPC reacciona con la urea para formar una estructura insoluble en la celulosa (Schindler & Hauser, 2004).

- **Degradación térmica de un material celulósico**

Se produce a través de una serie de reacciones individuales que se ven influidas por la temperatura, la velocidad de calentamiento y el entorno que la rodea, especialmente el oxígeno, el agua y otros gases reactivos inertes, también influye la composición y el área física del sustrato. La formación de levoglucosano es determinado como un importante medio gaseoso volátil, se genera por la degradación térmica de la celulosa, cuando ésta se encuentra a elevadas temperaturas.

Figura 3.

Etapas generales de acción del calor sobre la celulosa



Nota. La figura presenta las etapas generales de polímeros naturales lignocelulósicos. Fuente: Pal et al., (2020).

- **Combustión del algodón**

La inflamabilidad de las fibras celulósicas se debe a su composición mecano-química, es decir a la presencia de cierta cantidad de contenidos de lignina. La degradación térmica del algodón a temperaturas superiores de 300 °C produce gas, líquido y sólidos alquitranados. Al arder, el algodón genera compuestos altamente combustibles, principalmente levoglucosano. En los componentes inflamables de los productos gaseosos se produce calor adicional para convertir los productos líquidos y alquitranados en vapores inflamables que a su vez refuerzan la combustión en llamas. Este proceso continúa hasta que sólo queda un residuo carbonizado. Este residuo no soporta la combustión y la primera fase de la combustión en llamas termina (Yashovardhan & Deshpande, 2014).

- **Mecanismo de retardación de la llama del algodón**

La fibra de algodón sufre un cambio químico irreversible cuando la temperatura de la fibra se eleva constantemente hasta alcanzar la temperatura de pirólisis, produciendo carbón vegetal y gases no inflamables (dióxido de carbono, vapor de agua, óxidos superiores de nitrógeno y azufre). A medida que aumenta la temperatura, el alquitrán también se piloriza, de modo que produce carbón y más gases no inflamables e inflamables, hasta que finalmente alcanza la temperatura de combustión. En este punto, los gases inflamables se combinan con el oxígeno en el proceso llamado combustión que es una serie de reacciones de radicales libres en fase gaseosa. Estas reacciones son altamente exotérmicas y producen gran cantidad de luz y calor. El calor generado por el proceso de combustión proporciona la energía térmica adicional necesaria para continuar con el pirólisis de la fibra, por lo que, el suministro de más gases inflamables para la combustión de los textiles viene determinado más por la velocidad o el índice de propagación liberado que por la cantidad de este calor (Yashovardhan & Deshpande, 2014).

- **Índice de oxígeno limitante del algodón**

El índice de oxígeno limitante es una medida que permite una evaluación objetiva de las propiedades de protección contra las llamas. Como expresa Alam (2021):

Índice de oxígeno limitante (IOL), significa el menor porcentaje de volumen del O₂ en una mezcla de O₂ y N₂ que es capaz de sostener apenas la combustión flamígera de un material, de la misma manera que arde una vela. La teoría demuestra que los textiles que tienen valores de IOL de hasta el 21% (en volumen) arden rápidamente, mientras que los que tienen valores de IOL entre el 21% y el 25%, empieza a ser ignífugo. (p.106)

Existen varios productos químicos que ayudan a mejorar los valores de IOL para las fibras celulósicas, como el bórax o fosfato de amonio.

2.4.2. Breve resumen de los procesos de aplicación de acabados textiles

Los procesos de acabados textiles, en gran parte emplean técnicas de aplicación en húmedo, por lo tanto, se puede considerar los siguientes: procesos de agotamiento e impregnación, así como métodos de pulverización, recubrimiento, transferencia y adaptación de espumas, que se encuentran entre las técnicas de aplicación bajas en relaciones de baño, asimismo, se incluyen las

implementaciones de plasma, laminación, microencapsulación y la tecnología sol-gel. Para la ejecución, hay que tener en cuenta la relación de baño óptima para garantizar la distribución adecuada de los componentes químicos. Este factor depende del tipo de fibra, estructura del tejido y de los tratamientos previos del sustrato textil. Los tratamientos en húmedo convencionales requieren grandes cantidades de agua y productos químicos, a diferencia de los métodos de aplicación de baja adición, que se centran en la reducción del consumo de agua y energía, últimamente han cobrado importancia los acabados con funcionalidades, tales como, la repelencia al agua, aceite y polvo, retardación a la llama, propiedades antibacterianas, y otras tantas funcionalidades debido a sus ventajas en comparación con los métodos tradicionales (Basyigit, 2021).

2.4.2.1. Técnica de aplicación por pulverizado

Los primeros métodos de pulverización consistían en aplicar la solución química directamente sobre el tejido a través de boquillas en un lugar cerrado para evitar la distorsión del patrón a tratar, sin embargo, esta técnica ha ido mejorando los últimos cinco años y el mercado textil la considera cada vez más ecológica. El pulverizado es una dispersión de gotas con suficiente impulso para penetrar en el medio circundante (Nasr et al., 2002). La técnica de pulverización se ha desarrollado en el contexto de la conservación del agua. El proceso proporciona flexibilidad en cuanto a la deposición en un lugar específico, fácil mantenimiento y alto nivel de uniformidad por el tamaño uniforme de las gotas, además esta técnica requiere menos agua, productos químicos y energía para el secado y curado. Se pueden aplicar diferentes tipos de acabados funcionales, como los antimicrobianos, los repelentes al agua, entre otros (Samanta et al., 2015).

La boquilla que produce la pulverización se denomina atomizador; esta técnica es muy versátil, puede aplicarse en uno o ambos lados del tejido en la dirección deseada, ya sea horizontal o vertical. Los parámetros a tener en cuenta son la velocidad y presión, así como la anchura y el peso del tejido, ya que de ellos depende la absorción del producto aplicado. Los procesos que utilizan gotas requieren un impulso suficiente para transportar las gotas al lugar al que deben ser transportadas o para proporcionar una fijación.

2.4.2.2. Tipos de pulverización

Los tipos de pulverización se dividen en dos, la atomización primaria (cerca de la boquilla) y la atomización secundaria (la ruptura de las gotas es más allá de la boquilla). Las principales fuerzas se deben a las variaciones de presión del gas en la superficie, los efectos de contención de la tensión superficial y los efectos de amortiguación de la viscosidad del líquido (Nasr et al., 2002). Asimismo, están los sistemas de pulverización de boquilla, disco y rotor, que no ofrecen ninguna acción mecánica para promover la penetración de productos químicos en la estructura interna del tejido, sin embargo, pueden ser beneficiosos en los tejidos de punto.

a) Pulverización directa por boquilla

La pulverización por boquilla tiene la ventaja es que no tiene limitaciones en cuanto a la anchura de tejido, y la versatilidad del sistema queda demostrado por el uso satisfactorio en tejidos planos, de punto y tejidos no tejidos, sin embargo, con este sistema, la obstrucción de las boquillas y la falta de uniformidad de la distribución causada por la acumulación de los productos en las toberas adyacentes pueden dar lugar a un problema de calidad.

b) Pulverización indirecta con aplicadores Farmer Norton y Weko

En estos sistemas la pulverización se genera bombeando la solución de acabado mediante un contenedor hasta el centro al conjunto de discos que giran rápidamente, la fuerza centrífuga generada por la rotación del disco o rotor rompe el líquido en finas gotas, a continuación, caen sobre el tejido a gran velocidad, dando lugar a una fina capa de productos químicos concentrados, que penetran bien el tejido. El sistema de spray suele estar conectado a un rotor que proporciona el movimiento de accionamiento del pulverizador. La unidad también está equipada con deflectores para controlar la dirección de la aspersion, eliminando así la acumulación del pulverizado. Los aplicadores Farmer Norton, se pueden usar para introducir resinas u otros acabados, el teñido solo puede ser una opción; se puede producir ya sea en una o dos caras con un nivel de recogida de hasta el 30% y el sistema Weko trabaja con un 10 y 30% (Elbadawi & Pearson, 2003).

Los acabados ignífugos se aplican a los textiles mediante diversas técnicas. En la industria textil normalmente se utiliza el recubrimiento por inmersión para la fabricación de textiles recubiertos a gran escala. Sin embargo, “este proceso requiere de grandes cantidades de agua que se eliminan mediante calor/energía” (Archana & Bordes, 2020, p.2). Por lo tanto, el método de

pulverizado es un proceso de acabado alternativo, ya que se utiliza menos cantidad de agua, productos químicos, menos energía para el secado y curado.

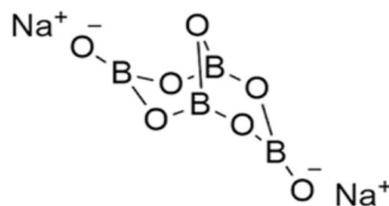
2.4.3. Información genérica del bórax

El bórax también conocido como tincal, borato sódico, tetraborato de sodio, es una sustancia cristalina incolora, suave y liviana, debido a las propiedades que ofrece se utiliza en muchas industrias. El bórax es un mineral que se encuentra en la naturaleza; se utiliza para acabados ignífugos porque tiende a reducir la llama. Presenta la siguiente fórmula química: $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ (Gazulla et al., 2005).

El bórax y derivados que pertenecen a la clase de compuestos químicos inorgánicos, se utilizan principalmente para retardar el fuego, asimismo, resultan comercialmente disponibles y ecológicamente favorables. El bórax tiene una alta temperatura de ignición, no produce gases tóxicos durante la combustión que contaminen el medio ambiente. Los retardantes de llama de bórax actúan como una barrera formando una capa protectora vítrea en la superficie del material. Además, cortan el contacto del material en combustión con el oxígeno y retrasan la combustión del mismo (Silva-Santos et al. 2017).

Figura 4.

Estructura molecular del bórax



Fuente: Makalesi et al., (2019).

2.4.3.1. Usos y aplicaciones

El bórax ha sido utilizado desde años atrás en diversas aplicaciones tales como, componente de vidrios y cerámica, metalurgia, aditivo fertilizante, suplemento de jabón, desinfectante, enjuague bucal, retardantes de llama, ablandador de agua, entre otras. Se utiliza principalmente para retardar el fuego en materiales celulósicos. Una combinación muy común es bórax con ácido bórico, en la actualidad se siguen utilizando en tejidos celulósicos y también en polímeros que contienen hidroxilo.

2.4.3.2. Actividad retardante del bórax

El bórax, ácidos bóricos y sistemas similares de sales generadoras de ácido funcionan en la fase condensada promoviendo la formación de carbón, imparten un revestimiento vítreo impermeable frente al progreso de la llama. La forma en que actúan consiste en la formación de una capa inorgánica vítrea que a menudo se vuelve incombustible, y genera un aumento de carbón vegetal; posiblemente a través de la formación de ésteres de borato, así como por el bloqueo de emisión de combustible volátil. Los boratos también pueden desprender agua que sirve como disipador del calor. Al calentarse el bórax se disuelve en su propia agua de hidratación y luego se convierte en un fundido cristalino. El ácido bórico y sus sales hidratadas bajo un punto de fusión liberan vapor de agua y producen una superficie vítrea espumosa en la fibra que la aísla del calor y el oxígeno aplicado (Lewin & Weil, 2001).

2.4.4. Resinas de uso textil

Las resinas son productos químicos utilizados en la industria textil para diferentes propósitos, especialmente en tejidos celulósicos y sus mezclas después del lavado; causan un efecto significativo en las características del tejido. Estas tienen una apariencia sólida y altamente viscosa, pueden ser de origen vegetal, sintético y mezclas de sustancias orgánicas. Son utilizadas en una serie de tratamientos textiles, los acabados que se realizan con resinas tienen la finalidad de impartir mejoras (Ver **Tabla 6**).

Tabla 6.

Resinas para aplicaciones textiles

Resinas			
Clasificación	Característica	Tipo de acabado	Ejemplo
Resinas de deposición o recubrimiento	Se depositan sobre el tejido como recubrimiento superficial.	No producen ninguna reacción entre la fibra y la resina.	Resinas de fenol-Formaldehído, resina urea-formaldehído, resinas alquídicas, resinas de cetona, resinas de vinilo.

Clasificación	Característica	Tipo de acabado	Ejemplo
Resinas reticuladas	Reaccionan químicamente con la fibra.	Duradero, con mejores propiedades que la resina de deposición.	DMU (Dimetilol urea), DMEU (Dimetilol etileno urea), DMDHEU (dimetilol dihidroxi etileno urea), DMPU (Dimetilpropileno urea), TMM (Trimetilol melamina/ Melamina Formaldehído).

Nota. Datos tomados de Goswami, P. (2013).

2.4.4.1. Reticulantes para fibras celulósicas

Los fijadores utilizados en la industria textil con mayor frecuencia y eficacia son de urea y melamina-formaldehído. Son de gran importancia en la industria textil, ya que no solo se utilizan como fijadores sino también como agentes resistentes a las arrugas y aglutinantes para mejorar la solidez del lavado al color. La urea y melamina-formaldehído pertenecen a la clase de los polímeros sintéticos, que son líquidos, viscosos, incoloros, transparentes, pegajosos y resistentes a los productos químicos.

a. Dimetilol urea

El dimetilol urea se emplea como fijador, son agentes formadores de películas de bajo peso molecular producidos por la polimerización de intermediarios simples en un estado homogéneo disuelto o disperso. Para garantizar la adherencia en colorantes o celulosa de alta calidad se requiere de los siguientes requisitos, según Ahmad et al., (2003):

1. Capaces de formar una película muy suave.
2. Debe ser claro, incoloro, inodoro y transparente.
3. Tener buena estabilidad a la luz, desgaste, limpieza en seco, resistencia a la abrasión y adherirse firmemente a las fibras.
4. Buena capacidad para ofrecer resistencia a los productos químicos.
5. Soluble en agua y después del curado debe ser repelente al agua (p.151).

b. Resina melamina

Es un tipo de resina amínica hecha de melamina y formaldehído, es uno de los polímeros termoendurecibles más duros y rígidos, se utilizan como adhesivos, laminados y revestimientos. Proporcionan buenas propiedades de rendimiento. Disponen de varias ventajas, como transparencia, mejor dureza, estabilidad térmica, excelente resistencia a la ebullición, al rayado, a la abrasión, a la humedad, retardante de llama, además, brinda suavidad en la superficie, lo que la lleva a grandes aplicaciones industriales. Son muy utilizadas por su bajo costo, su versatilidad y sus numerosas aplicaciones, como los paneles decorativos, el curtido de pieles y los revestimientos de materiales, asimismo, el formaldehído de melamina se usa para el tratamiento de telas pesadas, cortinas, revestimientos, cuellos y prendas de vestir, en fibras hidrófugas e ignífugas. Resulta muy eficaz tanto en fibras naturales como sintéticas (Katović et al., 2012).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

La investigación que se va a utilizar es cuantitativa debido a que se basa en la observación de datos numéricos mediante el uso de técnicas matemáticas, computacionales y estadísticas. A partir de ahí, los datos se dividen o clasifican en categorías o términos de unidades de medida. Los gráficos y tablas de datos se pueden construir con la aplicación de la investigación cuantitativa, lo que facilita el análisis de los resultados (Ahmad et al., 2019). Uno de los principales propósitos de este tipo de investigación es hacer afirmaciones con cierto grado de confianza sobre un grupo considerable, dichas declaraciones suelen aceptar las premisas hipotético-deductivas con regularidad y recurrencia que están presentes en las ciencias naturales y físicas.

3.1. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

En este apartado se describen algunos tipos de investigación comúnmente utilizados por los científicos. Kallet (2024) manifiesta que los estilos de investigaciones abarcan los diferentes estudios en los que se describe las acciones a realizar para analizar un determinado problema de indagación, así como la justificación de la aplicación de los procedimientos o técnicas específicas empleadas en la identificación, selección, procesamiento y análisis de la información aplicada en la comprensión del problema, de forma que el lector pueda evaluar críticamente la validez y fiabilidad del estudio.

3.1.1. Investigación hipotética

El enfoque hipotético parte de algún proceso de razonamiento deductivo e inductivo. “Los métodos hipotético-deductivos confirman una teoría cuando la diferencia entre la predicción y la observación es pequeña y la descartan cuando la desviación es grande” (Tariq, 2015, p.230). La mayor parte de la metodología se basa en reducir la brecha entre las predicciones y las observaciones. Lavrakas (2013) menciona que:

Una investigación hipotética es una propuesta o declaración predictiva específica, clara comprobable sobre un posible resultado de un estudio de investigación científica basado en una propiedad particular de una población, como las supuestas diferencias entre grupos en una variable particular o las relaciones entre variables. (párr.1)

La investigación hipotética es importante ya que se estableció una expectativa a priori sobre los resultados del estudio en una o más hipótesis. Así se consideró, debido a las propiedades ignífugas que dispone el bórax, es posible la obtención de un calcetín con acabados retardantes a la llama, además se dedujo que dicho producto en combinación con una resina produciría un acabado semi permanente para calcetines de trabajo.

3.1.2. Investigación experimental

La investigación experimental se centra en un estudio que adapta estrictamente un diseño de indagación científica. Establece la relación causa-efecto y realiza la comparación, pero la causa puede manipularse para la obtención de varios datos que posteriormente se evalúan desde diferentes perspectivas, buscando posibles relaciones entre las variables. El efecto, la variable dependiente, está en función de la variable independiente, es decir, incluye una hipótesis y una o más variables que pueden ser manipuladas por el investigador, así como variables que pueden ser medidas, calculadas y comparadas (Harland, 2021). Lo más importante de esta investigación es que se lleva a cabo en un entorno controlado.

Se emplea la investigación experimental, ya que requirió la evaluación de estudios previos sobre tejidos de punto con acabados retardantes de llama como el bórax, la aplicación de resinas y el tipo de pulverizado. A partir de esto, se identificó la receta más próxima a utilizar, donde se realizó algunas modificaciones hasta que se llegó a obtener la receta óptima, también se analizó un tipo de resina con propiedades para fijar el bórax en calcetines de algodón. Este estudio determina la aplicación de bórax y la resina, el cambio en el valor de la variable independiente y también permite observar el efecto que sucede en otra variable dependiente. A continuación, se emplearon ensayos para la determinación de la llama y para procedimientos de lavado y de secado para realizar una evaluación crítica. Todo esto con el fin de obtener un acabado ignífugo en artículos de calcetería.

3.1.3. Investigación analítica

La investigación analítica implica la búsqueda de metaanálisis de métodos cuantitativos de revisión. Consiste en una recopilación y valoración selectiva de datos para explicar, comprender los acontecimientos, acciones y descripciones ocurridas en el pasado. Puede incluir documentos, registros numéricos y declaraciones orales (Kallet, 2024). También se refiere a la realización de

una evaluación formal de varias investigaciones con la intención de realizar algún cambio o conclusión útil si es necesario.

Una vez realizado los respectivos ensayos se procede al uso de la investigación analítica ya que a partir de esta se recogieron los datos importantes del proyecto. Se llevaron registros numéricos de las diferentes muestras analizadas y se realizó la evaluación numérica de las muestras obtenidas con las diferentes concentraciones aplicadas en los artículos de calcetería. Finalmente, los resultados obtenidos sirvieron para apoyar o rechazar la hipótesis de la obtención de un acabado ignífugo.

3.1.4. Investigación comparativa

Los investigadores utilizan métodos estadísticos para construir y realizar comparaciones cuantitativas, elaboran estudios teóricos y contrastan los datos de los casos en variables relevantes con los valores medios para evaluar la discriminación de las muestras (Miri & Shahrokh, 2019). Esto proporciona una base para hacer afirmaciones sobre regularidades empíricas, para valorar e interpretar los casos en relación con criterios sustantivos y teóricos.

La investigación comparativa es fundamental para el contraste de valores para distinguir las diferencias y similitudes que estos contienen según los efectos obtenidos en base a las variables de bórax y la resina utilizada en los calcetines. El empleo de esta metodología ayudó a concluir la cantidad de productos que dieron los mejores resultados en la obtención de un acabado ignífugo.

3.2. NORMAS

La presente investigación empleó las normas disponibles en el laboratorio textil. El propósito de estos estándares es evaluar el desempeño del acabado retardante a la llama a partir de la realización de análisis estandarizados y la validación de los resultados.

3.2.1. Norma para determinar la propagación de la llama en tejidos ISO

15025:2000(E)

El procedimiento de realización de los ensayos ignífugos se llevó a cabo mediante la aplicación de la norma ISO 15025:2000(E).

Esta norma se emplea para determinar las propiedades de los tejidos en respuesta a un breve contacto con una pequeña llama en condiciones controladas. Sin embargo, es posible que los

resultados no puedan aplicarse a situaciones en las que exista un suministro de aire restringido o cuando haya una exposición a grandes fuentes de calor intenso.

La norma detalla el proceso completo para la evaluación de los calcetines con acabado retardante a la llama, tales como: los equipos a utilizar, el muestreo, la preparación de las muestras, la instalación del aparato de prueba, entre otras.

3.2.2. Norma para procedimientos de lavado y de secado domésticos para los ensayos de textiles ISO 6330:2012

El procedimiento de lavado se lleva a cabo en una máquina de referencia tipo A (tambor horizontal y carga frontal) denominada “WASCATOR”. Asimismo, la norma específica los niveles de secado, pero debido a que en el laboratorio no se dispone de estos, solo se adaptó el ensayo del lavado.

Para los procedimientos de lavado y de secado doméstico se hizo uso de la norma ISO 6330:2012, con el objetivo de determinar el comportamiento y la calidad del acabado ignífugo de los calcetines. Esta se utilizó ya que los calcetines con acabado de bórax y resina son propensos a sufrir cambios en la etapa de lavado.

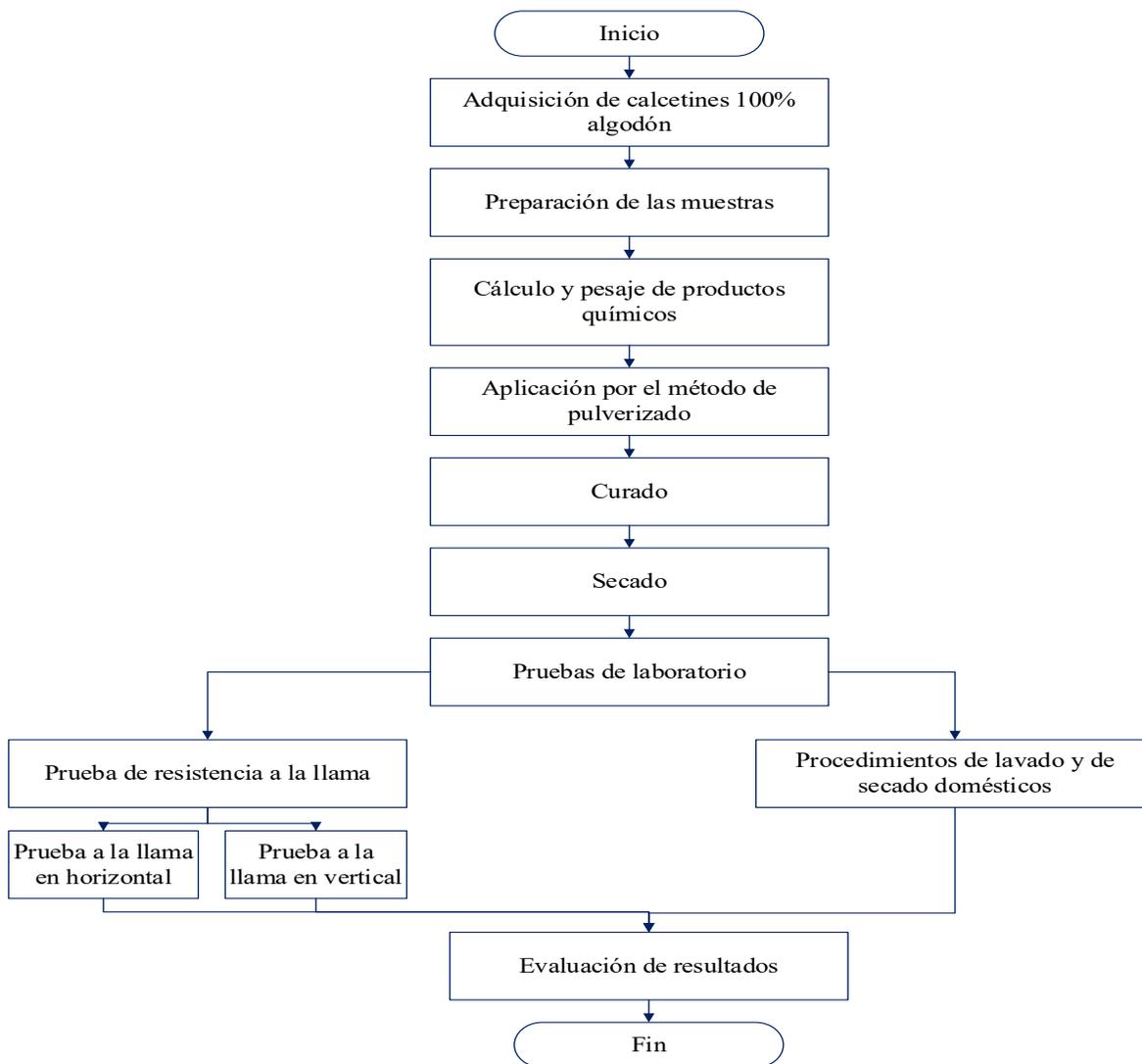
La norma consiste en un ensayo completo de lavado y secado, en donde se describen las especificaciones establecidas para los procedimientos de distintos lavados basados de acuerdo al tipo de lavadora, asimismo, señala los procedimientos de secado. Por otro lado, el uso de los parámetros diferentes de la lavadora, detergente y el tipo de secado, pueden afectar los resultados de las pruebas, por lo cual, la normativa recomienda establecer los parámetros a emplear.

3.3. FLUJOGRAMA DEL PROCESO

3.3.1. Flujograma general

En el caso práctico de la investigación para el acabado retardante a la llama en calcetines de algodón, se detalla mediante un diagrama de flujo los pasos que deben realizarse para su obtención. Esto se hace con el fin de facilitar e indicar de forma clara y sencilla cómo se debe llevar a cabo el proceso de adquisición de calcetines ignífugos.

Figura 5.
Flujograma general para la obtención de un acabado ignífugo en calcetines de trabajo

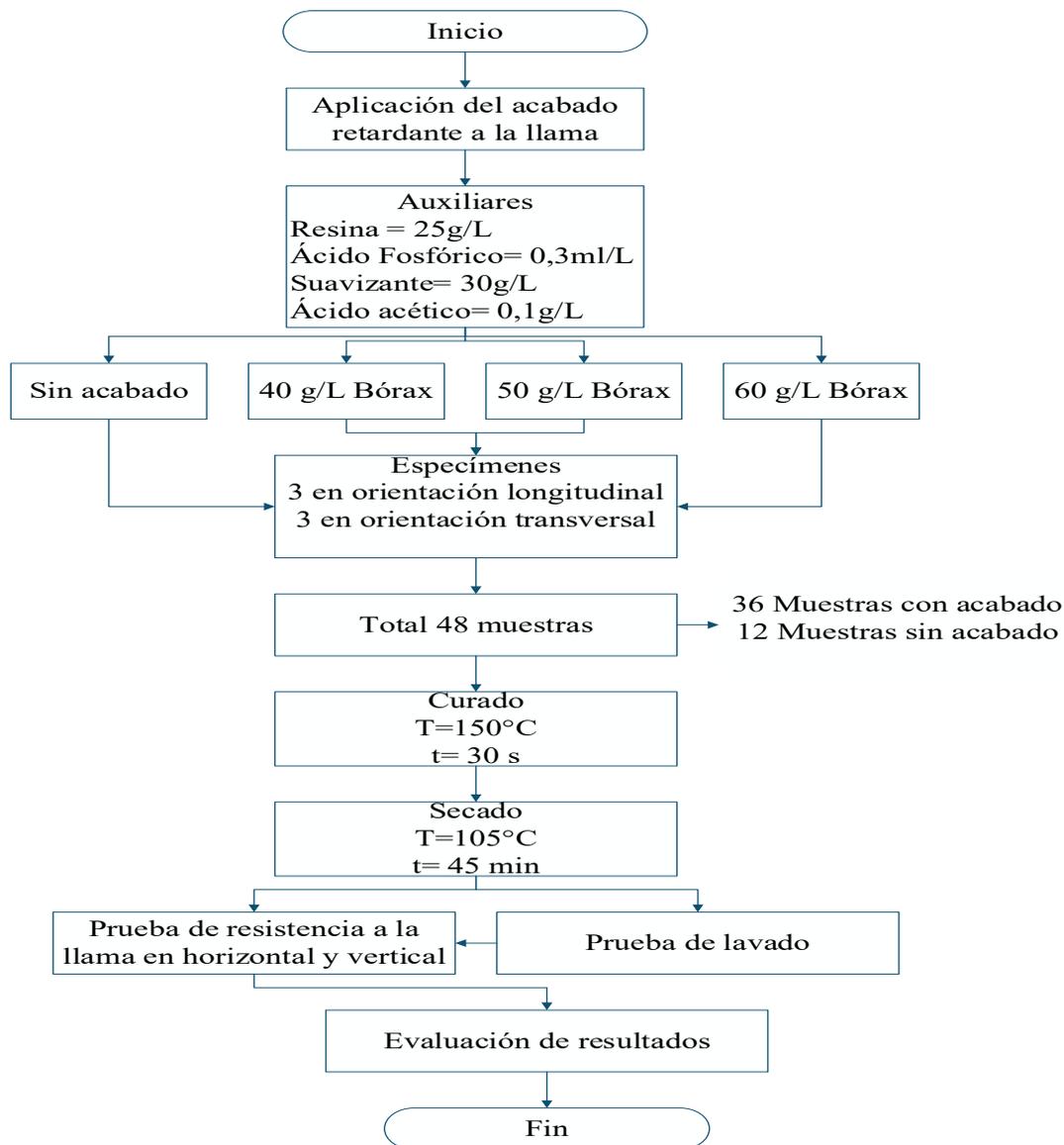


Fuente: El autor.

3.3.2. Flujograma muestral

Para la realización del acabado retardante de fuego, se emplearon nueve calcetines de algodón, en donde para cada una de ellas se preparó las debidas concentraciones de bórax y resina, asimismo se empleó una silicona y un suavizante para brindar mayor suavidad y confort al sustrato textil. Para su aplicación se empleó el método de pulverizado, seguidamente se realizaron las pruebas respectivas, como se observa en **Figura 6**, todo esto se realizó con la finalidad de evaluar los calcetines que presentan mejores características de acuerdo a las dosificaciones aplicadas.

Figura 6.
Flujograma muestral para la obtención de calcetines resistentes al fuego



Fuente: El autor.

3.4. PROCESO DE ACABADO IGNÍFUGO

El acabado ignífugo es uno de los más importantes entre los diversos ennoblecimientos funcionales disponibles para los textiles, debido a que las fibras utilizadas para la fabricación de los artículos textiles son altamente inflamables al provenir de polímeros naturales y sintéticos. Para llevar a cabo el proceso de acabado retardante a la llama en calcetines de trabajo de algodón, se requiere tomar en cuenta ciertos parámetros y variables, asimismo, se considera los materiales, auxiliares y equipos de trabajo.

3.4.1. Parámetros y variables

Los parámetros intervienen en la selección del proceso, por tal motivo se tiene en cuenta la función del producto final a obtener, ya que los sustratos textiles a tratar con un acabado ignífugo son calcetines de trabajo de algodón, se ha seleccionado el proceso de pulverización, debido a que el calcetín puede sufrir algún cambio extra con los procesos de agotamiento o impregnación.

Tabla 7.

Descripción de los parámetros

Parámetros	Valor
Temperatura	Curado a 150°C por 30 segundos. Secado a 105°C por 30-45 minutos.
pH del baño	7.5-8
Disolución del bórax	35°C

Fuente: El autor.

3.4.2. Materiales

Para la realización del acabado retardante a la llama se empleó los siguientes materiales:

Tabla 8.

Materiales

Materia prima	Calcetines de algodón 100%
Instrumentos de laboratorio	Balanza
	Vidrio reloj
	Agitador
	Vaso de precipitación
	Cucharilla
Producto ignífugo	Tijeras
	Bórax
	Resina, suavizante y ácido fosfórico
	Guantes
Productos auxiliares	Papel pH & peachímetro digital
Equipos de protección	
Insumos	

Fuente: El autor.

Los calcetines para trabajo tienen que disponer ciertas particularidades para ser adecuados para el usuario. Se caracterizan por ser cómodos, por tal motivo los que se acoplan a estas particularidades son los calcetines con las siguientes características.

Tabla 9.
Calcetín de trabajo

Características del calcetín



	Hilo de fondo	100% algodón peinado
Material	Hilo vanizado (elastómero recubierto de poliamida)	9%
Densidad:	Malla lisa: 25 columnas 42 pasadas	Malla medio rizo: 25 columnas 46 pasadas
	Tipo de tejido	Punto
	Talla	10 - 12
	Tamaño	Media bota
	Rizo	Medio
	Ligamento	Jersey
	Tipo de talón	Verdadero
	Título del hilo de trama	28 Ne

Fuente: El autor. *Nota.* Hilo de fondo 100% algodón.

A continuación, se presentan los productos a utilizar y la casa comercial de la que se obtuvieron.

Tabla 10.
Productos y auxiliares

Nombre	Nombre Comercial	Casa comercial	Producto
Tetraborato de sodio decahidratado	Bórax	LA CASA DEL QUÍMICO	
Resina	SEYFIX-SYQ	SEYQUIIN	
Suavizante	Suavizante OE/2	SEYQUIIN	
Ácido fosfórico	Ácido fosfórico	LA CASA DEL QUÍMICO	

Fuente: El autor.

3.4.3. Equipos

Para la parte de la experimentación relativa al acabado ignífugo, se requieren equipos para determinar el comportamiento de la llama en los tejidos, una lavadora para determinar la durabilidad del acabado aplicado y un horno para el secado de muestras, es así como se detalla los siguientes equipos.

3.4.3.1. Flexiburn

El flexiburn es una máquina que se emplea para demostrar la resistencia de inflamación de los sustratos textiles. El equipo tiene la función de “Probador de inflamabilidad multipropósito con TesWise Pro™.” (CTEX, 2020, p.4).

Figura 7.

Equipo para realizar ensayos ignífugos



Fuente: El autor.

3.4.3.2. Wascator

Según CTEX (2020), este equipo cumple con los requisitos de las normas ISO europeas, tiene algunas funcionalidades como la determinación del encogimiento, la estabilidad dimensional, la apariencia después del lavado y la evaluación antiarrugas.

Figura 8.

Equipo empleado para realizar pruebas de apariencia después del lavado



Fuente: El autor.

3.4.3.3. Horno de secado al vacío

En base a CTEX (2020), el horno de secado al vacío de la línea VACUUM OVEN es un equipo empleado en laboratorio para secar los sustratos textiles. Para la aplicación de resinas trabaja a una temperatura de 170°C.

Figura 9.

Equipo empleado para el secado de muestras de laboratorio



Fuente: El autor.

3.4.4. Bórax

El bórax es un compuesto que se utiliza en la industria textil para los acabados ignífugos y antibacterianos, también se usa como agente decolorante y para el tratamiento de aguas residuales. El bórax dispone de propiedades ignífugas, se emplea para hacer un acabado retardante a la llama. Para realizar el estudio del caso, es muy importante revisar todas las características físicas y químicas del producto, que se detallan en la ficha técnica del compuesto (Ver **Anexo 5**).

3.4.5. Resina

La importancia de la colocación de la resina sobre la fibra está demostrada en numerosos sistemas. El uso de resina para modificar el tacto, para impartir resistencia a las arrugas o estabilidad, o para fijar productos, actualmente se ha vuelto una práctica común, por tal motivo se emplea una resina para la fijación del bórax, con la finalidad de mejorar la durabilidad de los lavados (Ver **Anexo 6**).

3.4.6. Ácido fosfórico

En base a Spainhour (2014), el ácido fosfórico o ácido ortofosfórico, es un líquido denso, no tóxico, no corrosivo, no cancerígeno, seguro y barato. Sin embargo, se debe de tener cuidado con las sales de fosfato, ya que promueven la actividad de carcinógenos (Ver **Anexo 7**).

La combinación de ácido fosfórico con bórax produce aislamiento térmico en la fibra de celulosa, no son altamente duraderos, pero logran retardar las llamas. En el acabado realizado el ácido fosfórico se emplea como un catalizador homogéneo activo que se encarga de acelerar una reacción al reducir la energía de activación. Reaccionan al fuego en ácidos poli fosfóricos y meta fosfóricos que pueden formar una capa que bloquea el oxígeno (Krevelen & Nijenhuis, 2009).

3.4.7. Proceso de aplicación

El acabado ignífugo se llevó a cabo en artículos de calcetería, para el desarrollo del proceso de aplicación se realizó la receta para el acabado retardante a la llama como se describe en la **Tabla 11**. Las cantidades a utilizar se establecieron a partir de la realización de pruebas preliminares. Por tal motivo, la cantidad de bórax a utilizar parte desde los 40 g/L debido a que se evidencio buenos resultados inhibidores de llama y tomando en cuenta que el producto por sí sólo no resiste al lavado, se optó por la utilización de una resina como se planteó en los objetivos específicos para mejorar la fijación del compuesto. La combinación de los dos productos brinda buenos resultados retardantes a la llama, sin embargo, se tomó en cuenta la comodidad y confort del usuario a utilizar el producto final, y por ende se utilizó un suavizante para mejorar la apariencia del calcetín, ya que el suavizante actúa bien en un medio ácido se empleó el ácido acético. Finalmente se adiciono ácido fosfórico para mejorar el número de lavados, ya que, en la realización de las pruebas preliminares sin la adición de este producto, el acabado no resistía ningún lavado.

3.4.8. Método de aplicación

Para el método de aplicación, se empleó el principio de pulverización mediante la utilización de un compresor (Ver **Anexo 9**) en el que se colocó la solución para realizar el acabado ignífugo en la pistola de pintura para pulverizar los productos, luego se procedió a rociar los calcetines. Los parámetros que se tiene en cuenta en este proceso son:

- Presión de 2 bar.

- Tipo de pistola (Ver **Anexo 10**)
- Tipo de boquilla (Flujo plano)
- Longitud de la manguera
- Rociar el sustrato hasta conseguir un pick-up de 90% o superior a este.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Para el desarrollo del proceso se requiere los siguientes puntos:

a) Número de muestras

Para la prueba de retardación a la llama se requieren 3 muestras para la prueba vertical y 3 muestras para la prueba horizontal, a partir de este dato se toma en cuenta con las concentraciones a trabajar y se obtiene el número de muestras totales. El número de probetas para la prueba de lavado es en función del ensayo que se desea realizar, por lo tanto, es igual al número de muestras del ensayo de retardación a la llama. Finalmente se toma en cuenta las muestras que no contienen ningún acabado para la realizar la respectiva comparación.

b) Preparación del sustrato

Una vez que se adquiere los artículos de calcetería con las características consideradas para el usuario final, se procede a la preparación del mismo (Ver **Tabla 9**). Para la realización de las pruebas se toma en cuenta el ancho útil del calcetín (tobillo-punta), es decir se corta desde la parte tobillo, pero se elimina la punta, de manera que se obtiene la parte útil del calcetín para trabajar en las diferentes pruebas.

c) Concentración del bórax

Se empleó la metodología experimental para determinar la cantidad mínima y máxima a utilizar de bórax. Para esto realizó pruebas preliminares para determinar la cantidad adecuada a utilizar, se inició con 10, 20, 30 g/L de bórax, en donde los resultados no aportaron mayor significancia, sin embargo, de las tres cantidades la que brindó mejores resultados fue la concentración de 30 g/L. Por tal motivo para la aplicación sobre artículos de calcetería se partió desde 40, 50 y 60 g/L, asimismo se realizó una prueba con 70 g/L en donde se observó que se obtienen los mismos resultados que con la aplicación de 60 g/L.

d) Receta para el acabado ignífugo

Para la realización de la receta de un acabado ignífugo se tiene en cuenta el producto principal que proporciona las características retardantes a la llama, como es el bórax. Los productos auxiliares se mantienen constantes en todas las muestras, ya que se requiere observar cual es el comportamiento del compuesto principal del bórax con las tres concentraciones empleadas sobre las diferentes probetas.

Tabla 11.

Receta para la obtención de un acabado retardante a la llama

Producto	Cantidad	
Bórax	40-50-60	g/L
Resina	25	g/L
Ácido Fosfórico	0,3	ml/L
Suavizante	30	g/L
Ácido acético	0,1	g/L
Curado		
Temperatura	Tiempo	
150 °C	30 s	
Secado		
Temperatura	Tiempo	
105 °C	45 min	
Pick-up		
90%		

Fuente: El autor. *Nota.* Revisar la ficha técnica de cada producto; el suavizante requiere el uso del ácido acético.

Proceso:

1. Preparar los calcetines (cortar sólo la parte útil del calcetín).
2. Calibración o puesta a punto del equipo adaptado para realizar el pulverizado.
3. Revisar la receta y se procede a pesar las cantidades solicitadas.
4. Preparar la solución de los productos.
5. Los productos pesados se colocan en el siguiente orden, para evitar que la solución se corte:
 - a. En un vaso de precipitación de 500 ml, primero se coloca la cantidad de suavizante y luego se pipetea el ácido acético.
 - b. Colocar la resina
 - c. Colocar 500 ml de agua a 35 °C
 - d. Colocar el bórax

- e. Pipetear ácido fosfórico
- f. Mezclar hasta que se disuelvan todos los productos

A continuación, se muestran las cantidades a utilizar en 500 ml de agua para el desarrollo del acabado ignífugo, en base a la receta dada anteriormente.

Tabla 12.
Dosificación para el acabado resistente a la llama.

No.	Bórax g/L	Resina g/L	Suavizante g/L	Ácido acético ml/L	Ácido fosfórico ml/L
3	20	12,5	15	0,05	0,15
3	25	12,5	15	0,05	0,15
3	30	12,5	15	0,05	0,15

Nota. Cantidad de producto calculada para 500 ml de agua utilizando 40, 50 y 60 g/L de bórax.

Para determinar la cantidad del producto que ha sido suministrada sobre el calcetín se requiere pesar las muestras en seco y en húmedo, considerando que el método de aplicación es por pulverizado se adapta el cálculo del pick-up.

$$\%pick - up = \frac{Peso\ en\ húmedo - Peso\ en\ seco}{Peso\ en\ seco} * 100$$

Tabla 13.
Muestras para la prueba de retardo a la llama en vertical

No. Muestra	Concentración (g/L)	Peso en seco (g)	Peso en húmedo (g)	Pick-up (%)
1 muestra		12.702	-	-
2 muestra	0	12.903	-	-
3 muestra		12.083	-	-
1 muestra		12.607	24.045	90.73
2 muestra	40	12.208	24.118	97.56
3 muestra		12.211	24.009	96.62
1 muestra		13.002	24.907	91.56
2 muestra	50	12.097	24.008	98.46
3 muestra		12.305	24.052	95.47
1 muestra		12.213	24.086	97.22
2 muestra	60	12.600	24.609	95.31
3 muestra		12.108	24.003	98.24

Nota. Peso de las muestras en seco y húmedo para la obtención del pick-up.

Tabla 14.*Muestras para las pruebas de retardo a la llama en horizontal*

No. Muestra	Concentración (g/L)	Peso en seco (g)	Peso en húmedo (g)	Pick-up (%)
1 muestra		12.542	-	-
2 muestra	0	12.563	-	-
3 muestra		12.671	-	-
1 muestra		12.608	24.809	96.77
2 muestra	40	12.309	24.018	95.13
3 muestra		12.115	24.019	98.26
1 muestra		12.562	24.749	97.01
2 muestra	50	12.435	24.468	96.77
3 muestra		12.525	24.659	96.88
1 muestra		12.609	24.788	96.59
2 muestra	60	12.403	24.099	94.30
3 muestra		12.518	24.783	97.98

Nota. Peso de las probetas en seco y húmedo para la obtención del pick-up.**Tabla 15.***Muestras para la prueba de lavado para el retardo a la llama en vertical*

No. Muestra	Concentración (g/L)	Nivel de lavado	Peso en seco (g)	Peso en húmedo (g)	Pick-up (%)
1 muestra			12.942	-	-
2 muestra	0		12.303	-	-
3 muestra			12.800	-	-
1 muestra			12.108	24.002	98.23
2 muestra	40		12.134	24.121	98.79
3 muestra		No. 13-4H	12.302	24.089	95.81
1 muestra			12.672	24.394	92.50
2 muestra	50		12.785	24.567	92.15
3 muestra			12.905	24.789	92.09
1 muestra			12.609	24.102	91.15
2 muestra	60		12.503	24.019	92.11
3 muestra			12.118	24.004	98.09

Nota. Peso de los especímenes en seco y húmedo para la obtención del pick-up.**Tabla 16.***Muestras para la prueba de lavado para el retardo a la llama en horizontal*

No. Muestra	Concentración (g/L)	Nivel de lavado	Peso en seco (g)	Peso en húmedo (g)	Pick-up (%)
1 muestra			12.202	-	-
2 muestra	0		12.703	-	-
3 muestra		No. 13- 4H	12.382	-	-
1 muestra			12.208	24.009	96.67
2 muestra	40		12.109	24.008	98.27

3 muestra		12.081	24.003	98.68
1 muestra		12.720	24.709	94.25
2 muestra	50	12.445	24.46	96.54
3 muestra		12.075	24.059	99.25
1 muestra		12.109	24.08	98.86
2 muestra	60	13.001	24.973	92.09
3 muestra		12.228	24.083	96.95

Nota. Peso de los ejemplares en seco y húmedo para la obtención del pick-up.

3.6. PRUEBAS DE LABORATORIO

3.6.1. Prueba de propagación de la llama en tejidos

Tabla 17.

Requerimientos según la norma de retardo a la llama

Norma: NTE INEN-ISO 15025:2000			
Temperatura inicial	21 °C	Humedad relativa inicial	60%
Temperatura Final	21 °C	Humedad relativa final	60%
Equipo: Flexi Burn: James Heal: Modelo 780			

Especificaciones:

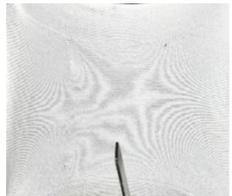
- Procedimiento exposición a la llama: ISO 15025
- Procedimiento B: Ignición del borde inferior (aplicación a 30° con la vertical)
- Tipo de tejido: Circular
- Tela: Punto Descripción: Calcetines de trabajo
- Gas: Mezcla Butano/Propano gas comercial
- Dimensiones del marco 200 mm x 160 mm
- Dimensión de probetas: (200 ±2) mm (160 ±2) mm
- Número de probetas: 3

Nota. En la tabla se mencionan los requerimientos estipulados por la norma, conjuntamente con las especificaciones para el desarrollo de las probetas para el ensayo de retardo a la llama.

La prueba de retardo a la llama empleó la norma NTE INEN-ISO 15025:2000, para este ensayo se consideró tres probetas para las distintas soluciones del acabado realizado con bórax. Las tablas presentan los especímenes en orientación vertical y horizontal de probetas con y sin acabado retardante a la llama con la finalidad de que se pueda realizar un análisis comparativo de los resultados.

Tabla 18.

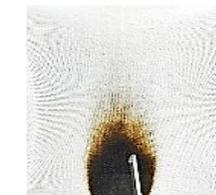
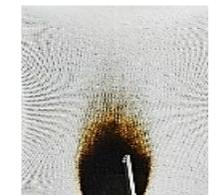
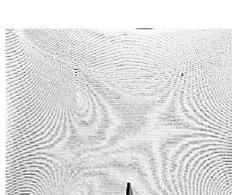
Muestras con acabado resistente a la llama para el primer ensayo.

M0	M1	M2	M3	M4
				
Vertical				
				
Horizontal				

Nota. En la tabla se presentan las muestras en vertical y horizontal. En donde M0: Probeta sin acabado, M1: Residuos de la probeta sin acabado, M2, M3 y M4: Resistencia al fuego de las muestras con acabado con la concentración de 40 g/L de bórax.

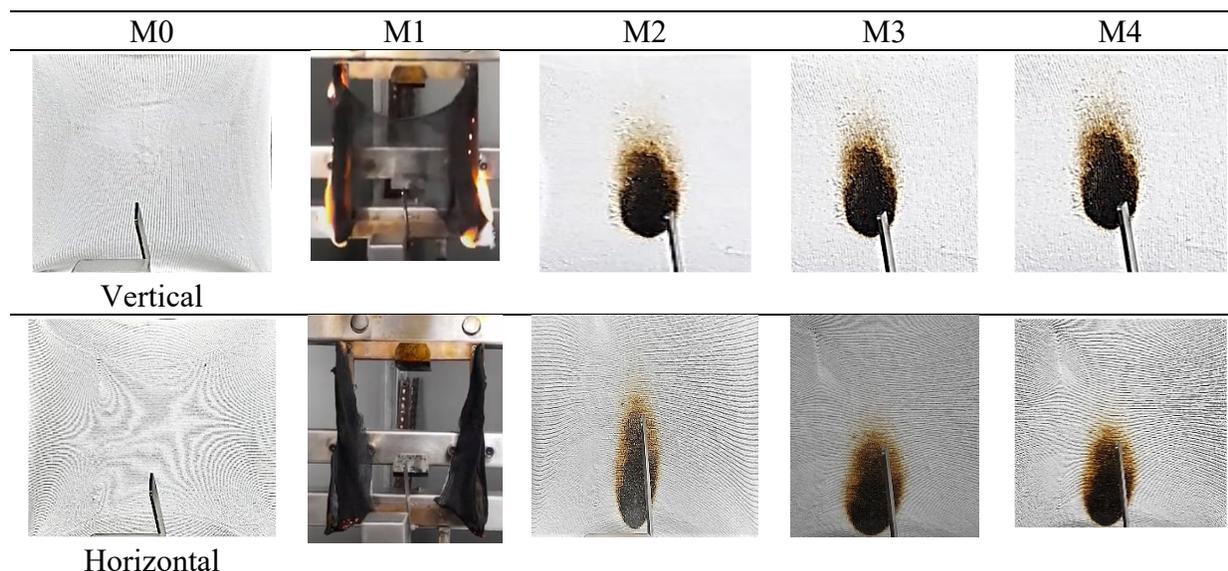
Tabla 19.

Muestras con acabado resistente a la llama para el segundo ensayo.

M0	M1	M2	M3	M4
				
Vertical				
				
Horizontal				

Nota. En la tabla se exhiben las muestras en vertical y horizontal. En donde M0: Probeta sin acabado, M1: Combustión de la probeta sin acabado, M2, M3 y M4: Resistencia al fuego de las muestras con acabado con la concentración de 50 g/L de bórax.

Tabla 20.
Especímenes para el tercer ensayo



Nota. En la tabla se presentan las muestras en vertical y horizontal. En dónde M0: Probeta sin acabado, M1: Residuos de la probeta sin acabado, M2, M3 y M4: Resistencia al fuego de las muestras con acabado con la concentración de 60 g/L de bórax.

3.6.2. Prueba de procedimientos de lavado y de secado domésticos

La prueba de lavado se realiza en el equipo Wascator con la norma ISO 6330:2012 para los procedimientos de lavado y de secado domésticos, la norma establece el uso de diferentes tipos de detergente, sin embargo, el detergente a emplear es de tipo A. Para la realización del lavado se pesan 20 g de detergente, el peso que se debe colocar en el equipo es igual a 2 Kg, siendo 1 kg el peso de los contrapesos y el restante de las muestras con acabado. A continuación, se detalla las exigencias que establece la norma para la ejecución de los ensayos.

Tabla 21.
Requerimientos de la norma de lavado

Norma: ISO 6330:2012			
Temperatura inicial	21 °C	Humedad relativa inicial	60%
Temperatura Final	21 °C	Humedad relativa final	60%
Equipo: Wascator			
Especificaciones:			
<ul style="list-style-type: none"> • Lavadora tipo A • Nivel de lavado: 13-4H • Tipo de detergente: Detergente de referencia 3 ECE98 			

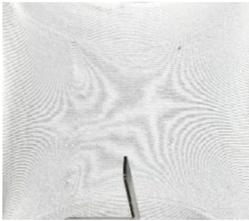
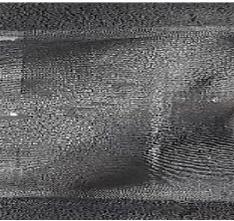
- Tipo de tejido: Punto
- Descripción: Calcetines de trabajo
- Masa total seca: 1 kg Contrapesos: 1 kg
- Tipo de contrapeso: Poliéster/Algodón
- Dimensión de probetas: (200 ±2) mm (160 ±2) mm
- Número de probetas: proporcional a las muestras del ensayo de resistencia a la llama.

Nota. En la tabla se mencionan las especificaciones estipuladas por la norma para el ensayo de lavado.

Pruebas de retardo a la llama después del lavado

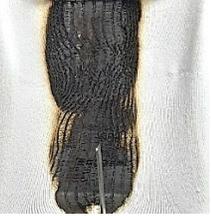
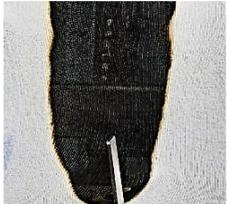
Esta prueba se realiza para determinar la resistencia a la llama que obtienen las probetas después de ser sometidas al lavado. En las tablas se presentan los especímenes con las diferentes concentraciones de manera que se determina si el acabado se ha mantenido en las probetas. Las muestras que se preparan para el ensayo de lavado se realizan de acuerdo al ensayo que se pretenda realizar. Se realiza el mismo procedimiento con la norma NTE INEN-ISO 15025:2000, por lo tanto, el número de especímenes es proporcional al primer ensayo, siendo 3 probetas longitudinales y 3 transversales. A continuación, se presentan las tablas con los especímenes sometidos al ensayo de retardación al fuego con las diferentes concentraciones de bórax.

Tabla 22.
Especímenes después del lavado para el primer ensayo.

M0	M1	M2	M3	M4
				
Vertical				
				
Horizontal				

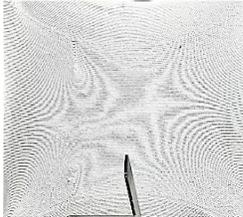
Nota. Donde M0: Probeta lavada sin acabado, M1: Residuos de la probeta sin acabado, M2, M3 y M4: Resistencia al fuego de las probetas lavadas con la concentración de 40 g/L de bórax.

Tabla 23.
Especímenes después del lavado para el segundo ensayo.

M0	M1	M2	M3	M4
				
Vertical				
				
Horizontal				

Nota. Donde M0: Probeta lavada sin acabado, M1: Residuos de la probeta sin acabado, M2, M3 y M4: Resistencia al fuego de las probetas lavadas con la concentración de 50 g/L de bórax.

Tabla 24.
Especímenes después del lavado para el tercer ensayo

M0	M1	M2	M3	M4
				
Vertical				
				
Horizontal				

Nota. Donde M0: Probeta lavada sin acabado, M1: Residuos de la probeta sin acabado, M2, M3 y M4: Resistencia al fuego de las probetas lavadas con la concentración de 60 g/L de bórax.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se describe la recopilación de datos numéricos obtenidos en los ensayos de resistencia a la llama y la prueba de procedimiento de lavados domésticos, asimismo, se proporciona e interpretan los hallazgos más importantes mediante tablas para la comprensión de los lectores.

4.1. RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores cuantitativos basados en función de la información recopilada. Los resultados se muestran en secuencias lógicas para su posterior uso en el análisis estadístico que servirán para apoyar o refutar una hipótesis.

4.1.1. Tabla de la prueba de propagación de la llama en tejidos

En las siguientes tablas se presenta la calificación de las probetas sin ningún tipo de acabado para comparar los resultados obtenidos con las muestras con acabado ignífugo. En la **Tabla 25** se pueden observar las probetas en orientación vertical y en la **Tabla 26** representan las muestras en orientación horizontal. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero & h) Longitud máxima dañada.

Tabla 25.

Probetas sin acabado resistente a la llama, orientación longitudinal

Nro.	a) (s)	b) (S/N)	c) (s)	d) (s)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	167	180	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
2	10	Sí	155	175	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
3	10	Sí	161	167	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
Media Aritmética			161.00	174.00				200.000
Desviación Estándar			6.00	6.56				0.000
Coficiente Variación			0.04	0.04				0.000

Nota. La tabla muestra los resultados del ensayo de resistencia al fuego de probetas sin acabado aplicando la ciencia estadística para la obtención de la media aritmética.

Tabla 26.*Probeta sin acabado resistente a la llama, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	165	180	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
2	10	Sí	160	180	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
3	10	Sí	161	178	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
Media Aritmética			162.00	179.33				200.00
Desviación Estándar			2.65	1.15				0.00
Coeficiente Variación			0.02	0.01				0.00

Nota. La tabla muestra la calificación del ensayo de resistencia al fuego de probetas sin acabado para la obtención de resultados estadísticos.

Las siguientes tablas reflejan los valores cuantitativos y cualitativos de las probetas con acabado resistente a la llama con concentraciones de 40 g/L de bórax. La **Tabla 27** indica probetas en vertical y la **Tabla 28** contiene probetas en horizontal.

Tabla 27.*Probetas con acabado ignífugo, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	7	No	No	Ninguna	75
2	10	No	0	8	No	No	Ninguna	78
3	10	No	0	8	No	No	Ninguna	78
Media Aritmética			0	7.67				77.00
Desviación Estándar			0	0.58				1.73
Coeficiente Variación			0	0.08				0.02

Nota. Resultados de pruebas con acabado retardante a la llama con una concentración de 40 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 28.*Probetas con acabado ignífugo, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	7	No	No	Ninguna	75
2	10	No	0	5	No	No	Ninguna	75
3	10	No	0	6	No	No	Ninguna	76
Media Aritmética			0	6.00				75.33
Desviación Estándar			0	1.00				0.58
Coeficiente Variación			0	0.17				0.01

Nota. Resultados de pruebas con acabado retardante a la llama con una concentración de 40 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Las siguientes tablas exponen los valores cuantitativos y cualitativos de las probetas con acabado resistente a la llama con concentraciones de 50 g/L de bórax. La **Tabla 29** indica probetas en vertical y la **Tabla 30** contiene probetas en horizontal.

Tabla 29.*Probetas con acabado ignífugo, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	6	No	No	Ninguna	75
2	10	No	0	7	No	No	Ninguna	76
3	10	No	0	6	No	No	Ninguna	75
Media Aritmética			0	6.33				75.33
Desviación Estándar			0	0.58				0.58
Coeficiente Variación			0	0.09				0.01

Nota. Resultados de pruebas con acabado retardante a la llama con concentración de 50 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 30.*Probetas con acabado ignífugo, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	6	No	No	Ninguna	73
2	10	No	0	6	No	No	Ninguna	72
3	10	No	0	7	No	No	Ninguna	75
Media Aritmética			0	6.33				73.33
Desviación Estándar			0	0.58				1.53
Coficiente Variación			0	0.09				0.02

Nota. Resultados de pruebas con acabado retardante a la llama con concentración de 50 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Las siguientes tablas señalan los valores cuantitativos y cualitativos de las probetas con acabado resistente a la llama con concentraciones de 60 g/L de bórax. La **Tabla 31** indica probetas en vertical y la **Tabla 32** contiene probetas en horizontal.

Tabla 31.*Probetas con acabado ignífugo, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	5	No	No	Ninguna	68
2	10	No	0	3	No	No	Ninguna	65
3	10	No	0	5	No	No	Ninguna	68
Media Aritmética			0	4.33				67.00
Desviación Estándar			0	1.15				1.73
Coficiente Variación			0	0.27				0.03

Nota. Resultados de pruebas con acabado retardante a la llama con concentración de 60 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 32.*Probetas con acabado ignífugo, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	0	No	No	Ninguna	55
2	10	No	0	3	No	No	Ninguna	60
3	10	No	0	0	No	No	Ninguna	55
Media Aritmética			0	1.00				56.67
Desviación Estándar			0	1.73				2.89
Coeficiente								
Variación			0	1.73				0.05

Nota. Resultados de pruebas con acabado retardante a la llama con concentración de 60 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

4.1.1.1. Pruebas de retardo a la llama después del lavado

Las siguientes tablas señalan los valores cuantitativos y cualitativos de las probetas sin ningún acabado sometidas a un ensayo de resistencia al fuego después de haber sido lavadas. La **Tabla 33** contiene los resultados obtenidos en vertical y la **Tabla 34** muestra los datos en horizontal.

Tabla 33.*Especímenes lavados sin acabado, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	160	173	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
2	10	Sí	163	176	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
3	10	Sí	160	173	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
Media Aritmética			161.00	174.00				200.00
Desviación Estándar			1.73	1.73				0.00
Coeficiente Variación			0.01	0.01				0.00

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante a la llama sin acabado. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 34.*Especímenes lavados sin acabado, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	160	173	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
2	10	Sí	160	173	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
3	10	Sí	149	170	Sí	Sí	Sí (Toda el área)	200
Media Aritmética			156.33	172.00				200.000
Desviación Estándar			6.35	1.73				0.000
Coefficiente Variación			0.04	0.01				0.000

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante a la llama sin acabado. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Las siguientes tablas señalan los valores cuantitativos y cualitativos de los especímenes con una concentración de 40 g/L sometidas a un ensayo de resistencia al fuego después de haber sido lavadas. La **Tabla 35** indica probetas en vertical y la **Tabla 36** contiene probetas en horizontal.

Tabla 35.*Probetas con acabado retardante a la llama, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	138	80	No	No	Ninguna	200
2	10	Sí	135	77	No	No	Ninguna	200
3	10	Sí	135	77	No	No	Ninguna	200
Media Aritmética			131.67	72.33				200.000
Desviación Estándar			1.15	0.58				0.000
Coefficiente Variación			0.01	0.01				0.000

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante con una concentración de 40 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 36.*Probetas con acabado retardante a la llama, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	131	72	No	No	Ninguna	200
2	10	Sí	131	72	No	No	Ninguna	200
3	10	Sí	133	73	No	No	Ninguna	200
Media Aritmética			136.0	78.00				200.000
Desviación Estándar			1.73	1.73				0.000
Coeficiente Variación			0.01	0.02				0.000

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante con una concentración de 40 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Las siguientes tablas señalan los valores cuantitativos y cualitativos de los especímenes con una concentración de 50 g/L sometidas a un ensayo de resistencia al fuego después de haber sido lavadas. La **Tabla 37** indica probetas en vertical y la **Tabla 38** contiene probetas en horizontal.

Tabla 37.*Probetas con acabado retardante a la llama, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	111	43	No	No	Ninguna	185
2	10	Sí	115	47	No	No	Ninguna	187
3	10	Sí	115	47	No	No	Ninguna	187
Media Aritmética			113.67	45.67				186.33
Desviación Estándar			2.31	2.31				1.15
Coeficiente Variación			0.02	0.05				0.01

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante con una concentración de 50 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 38.*Probetas con acabado retardante a la llama, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	Sí	104	33	No	No	Ninguna	175
2	10	Sí	109	36	No	No	Ninguna	175
3	10	Sí	104	34	No	No	Ninguna	173
Media Aritmética			105.67	34.33				173.67
Desviación Estándar			2.89	1.53				1.15
Coeficiente Variación			0.03	0.04				0.01

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante con una concentración de 50 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y en qué capa se forma (frontal e interior) y h) Longitud máxima dañada.

Las siguientes tablas señalan los valores cuantitativos y cualitativos de los especímenes con una concentración de 60 g/L sometidas a un ensayo de resistencia al fuego después de haber sido lavadas. La **Tabla 39** indica probetas en vertical y la **Tabla 40** contiene probetas en horizontal.

Tabla 39.*Probetas con acabado retardante a llama, orientación longitudinal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	8	No	No	Ninguna	78
2	10	No	0	9	No	No	Ninguna	80
3	10	No	0	8	No	No	Ninguna	77
Media Aritmética			0	8.33				78.33
Desviación Estándar			0	0.58				1.53
Coeficiente Variación			0	0.07				0.02

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante con una concentración de 60 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero y h) Longitud máxima dañada.

Tabla 40.*Probeta con acabado retardante a la llama, orientación transversal*

Nro.	a) (seg)	b) (S/N)	c) (seg)	d) (seg)	e) (S/N)	f) (S/N)	g)	h) (mm)
1	10	No	0	7	No	No	Ninguna	77
2	10	No	0	7	No	No	Ninguna	78
3	10	No	0	8	No	No	Ninguna	79
Media Aritmética			0	7.33				78.00
Desviación Estándar			0	0.58				1.00
Coeficiente Variación			0	0.08				0.01

Nota. Resultados de pruebas lavadas con acabado retardante con una concentración de 60 g/L. Donde, a) Tiempo aplicación de la llama, b) Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra, c) Tiempo de post-combustión, d) Tiempo de post-incandescencia, e) Si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, f) Desprendimiento de residuos, g) Si se forma agujero h) Longitud máxima dañada.

4.1.2. Tabla de la prueba de procedimientos de lavado y de secado domésticos

Esta norma tiene una aplicación diversa en las pruebas de calidad y comportamientos de los artículos textiles, siendo una de ellas la evaluación de los tejidos con algún tipo de acabado. Esta norma menciona la selección del tipo de detergente, la máquina de lavado y secado, los contrapesos y demás especificaciones que deben realizarse de acuerdo con la norma.

Tabla 41.*Especificación del procedimiento de lavado para probetas longitudinales y transversales.*

No. Muestra				1 M	2 M	3 M	1 M	2 M	3 M	1 M	2 M	3 M	1 M	2 M	3 M
Concentración (g/L)				0			40			50			60		
Procedimiento N°				4H											
Agitación en el calentamiento, lavado y en el acabado.				Suave (e)											
Lavado	Temperatura	a	°C	40 +/- 3											
	Nivel de Líquido	bc	mm	130											
	Tiempo de lavado	d	min	1											
	Enfriamiento	f		No											

1 aclarado	Nivel de Líquido	bc	mm	130
	Tiempo de aclarado	dg	min	2
2 aclarado	Nivel de Líquido	bc	mm	130
	Tiempo de aclarado	dg	min	2
	Tiempo de giro	d	min	2
3 aclarado	Nivel de Líquido	bc	mm	-
	Tiempo de aclarado	dg	min	-
	Tiempo de giro	d	min	-
4 aclarado	Nivel de Líquido	bc	mm	-
	Tiempo de aclarado	eg	min	-
	Tiempo de giro	d	min	-

Nota. Especificaciones para el ensayo de lavado, se aplica el mismo procedimiento para todas las muestras. a) La temperatura principal de lavado se refiere a la temperatura de desconexión. b) El nivel del líquido se mide a partir de la parte inferior del tambor después de un minuto de funcionamiento y treinta segundos de parada. c) Medición del volumen para una mayor precisión. d) Es posible aplicar una tolerancia de +/- 20 segundos a los tiempos indicados. e) Sin agitación durante el calentamiento del agua hasta la temperatura fijada -5 °C, se agita nuevamente f) Enfriamiento, se añade agua fría hasta 130 mm y se agita durante dos minutos suplementarios, g) El tiempo de aclarado.

4.1.3. Tabla general de resultados

Para la representación de los resultados se ha considerado realizar tres tablas generales (Tabla 42, Tabla 43 y Tabla 44), ya que los datos son cualitativos y cuantitativos. La **Tabla 42** contiene la calificación general cualitativa de los ensayos realizados, las **Tabla 43** y **Tabla 44** indican los valores de la media aritmética obtenidos de los ensayos de resistencia a la llama de los especímenes con acabado y probetas sometidas a pruebas de lavado.

En la siguiente tabla se puede apreciar la calificación de los datos cualitativos de las probetas con concentraciones de bórax al 0, 40, 50 y 60 g/L sometidas a ensayos de resistencia al fuego de probetas lavadas y sin lavar.

Tabla 42.
Datos cuantitativos del ensayo de resistencia a la llama.

Bórax (g/L)	Probetas con acabado								Probetas lavadas							
	Longitudinal				Transversal				Longitudinal				Transversal			
	ABSL	PIXL	DRL	FAL	ABST	PIXT	DRT	FAT	DL- ABSL	DL- PIXL	DL- DRL	DL- FAL	DL- ABST	DL- PIXT	DL- DRT	DL- FAT
0	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
40	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No	No	No
50	No	No	No	No	No	No	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No	No	No
60	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No

Nota. Para la tabla se han designado las siguientes siglas. Si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra en longitudinal (ABSL), si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada en longitudinal (PIXL), desprendimiento de residuos en longitudinal (DRL), si se forma agujero en longitudinal (FAL), si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra en transversal (ABST), si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada en transversal (PIXT), desprendimiento de residuos en transversal (DRT), si se forma agujero en transversal (FAT), después del lavado si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra en longitudinal (DL-ABSL), después del lavado si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada en longitudinal (DL-PIXL), después del lavado desprendimiento de residuos en longitudinal (DL-DRL), después del lavado si se forma agujero en longitudinal (DL-FAL), después del lavado si la llama alcanza el borde superior o cualquier borde de la muestra en transversal (DL-ABST), después del lavado si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada en transversal (DL-PIXT), desprendimiento de residuos en transversal (DL-DRT), después del lavado si se forma agujero en transversal (DL-FAT).

En la siguiente tabla se evidencian los valores numéricos obtenidos del ensayo de resistencia al fuego en función del tiempo para post-combustión y post-incandescencia.

Tabla 43.
Resultados en función del tiempo

Bórax (g/L)	PCL (s)	PCT (s)	DL-PCL (s)	DL-PCT(s)	PIL (s)	PIT (s)	DL-PIL (s)	DL-PIT (s)
0	161	162	161	156.33	174	179.33	174	172
40	0	0	131.67	136	7.67	6	72.33	78
50	0	0	113.67	105.67	6.33	6.33	45.67	34.33
60	0	0	0	0	4.33	1	8.33	7.33

Nota. La tabla indica los valores de la media aritmética de los ensayos realizados. Donde, Post-combustión longitudinal (PCL), Post-incandescencia longitudinal (PIL), Post-combustión transversal (PCT), Post-incandescencia transversal (PIT), Post-combustión longitudinal después del lavado (DL-PCL), Post-incandescencia longitudinal después del lavado (DL-PIL), Post-combustión transversal después del lavado (DL-PCT), Post-incandescencia transversal después del lavado (DL-PIT).

Las calificaciones numéricas obtenidas del ensayo de retardo a la llama se presentan en la siguiente a tabla, donde se expresa la longitud máxima en milímetros. La distancia de quemado obtenida de las diferentes muestras de trama y urdimbre realizadas con las concentraciones de 0, 40, 50, y 60 g/L de bórax.

Tabla 44.

Datos en función de la longitud

Bórax (g/L)	LMDL (mm)	LMDT (mm)	DL-LMDL (mm)	DL-LMDT (mm)
0	200	200	200	200
40	77	75.33	200	200
50	75.33	73.33	186.33	173.67
60	67	56.67	78.33	78

Nota. La tabla indica los valores de la media aritmética de los ensayos realizados. Donde, Longitud máxima dañada longitudinal (LMDL), Longitud máxima dañada transversal (LMDT), Longitud máxima dañada longitudinal después del lavado (DL-LMDL) & Longitud máxima dañada transversal después del lavado (DL-LMDT).

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de recoger y ordenar los datos de las pruebas realizadas para el análisis de resultados, es necesario hacer uso de la estadística, ya que nos ayuda a analizar los valores numéricos y a extraer información para una mejor comprensión. La estadística proporciona métodos para el análisis que permiten garantizar la fiabilidad de los resultados y ayudan al proceso de toma de decisiones para la presente investigación.

Para el análisis de la varianza y normalidad se consideró sólo la utilización valores cuantitativos ya que son los datos que tienen más relevancia en el ensayo de propagación a la llama. Los valores numéricos de la media aritmética se ingresan al programa PAST4 para la realización de los análisis estadísticos.

4.2.1. Análisis de la varianza

El análisis de la varianza tiene como objetivo encontrar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos o grupos que se comparan. Se utiliza para identificar si existen diferencias estadísticas relevantes entre las medidas de tres o más grupos (Mishra et al., 2019). La varianza se utiliza para comparar la mayor o menor dispersión de los valores de la variable respecto a la media aritmética; si la varianza es mayor, hay más dispersión por lo tanto la media aritmética será menos representativa. La prueba de igualdad en medias en ANOVA se utiliza para comparar

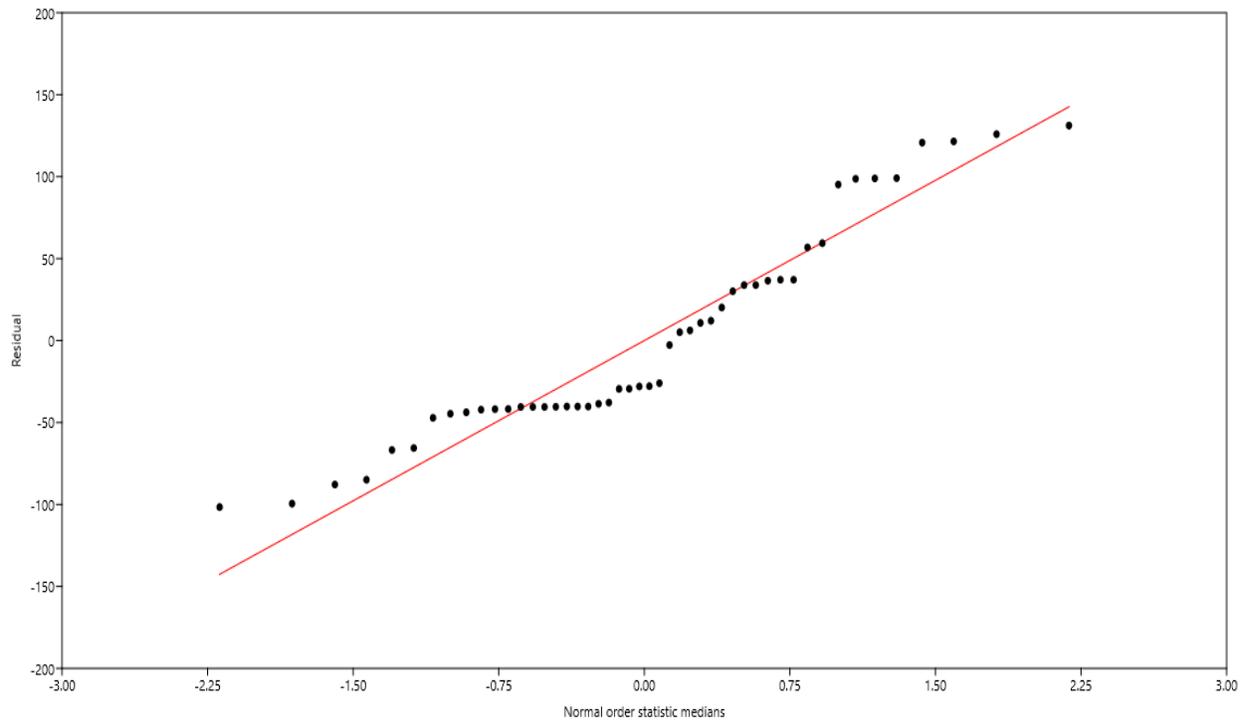
resultados, se basa en la hipótesis nula (H_0), dónde no hay diferencia entre las medias y la hipótesis alterna (H_1), al menos una media es diferente.

Tabla 45.
Análisis de la varianza

Prueba de igualdad de medias en ANOVA					
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Estadístico de prueba (F)	p (igual)
Entre grupos:	82435.6	11	7494.14	1.426	0.2038
Error::	189186	36	5255.17		Permutaciones p (n=99999)
Total:	271622	47	0.2049		

Fuente: El autor. *Nota.* El factor de estudio tiene un peso importante porque el nivel de probabilidad es de p (0.2038).

Figura 10.
Dispersión de valores



Fuente: El autor. *Nota.* Shapiro-Wilk W: 0.9157 y p (normal): 0.002111, por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza.

4.2.2. Normalidad de los datos

Las pruebas de normalidad calculan la posibilidad de que las muestras se hayan extraído de una población normal. Para esto se presentan dos hipótesis (hipótesis nula: los datos de la muestra no son significativamente diferentes e hipótesis alternativa: al menos un valor es diferente). Se comprueba cuando: las probabilidades son > 0.05 indican que los datos son normales y si las probabilidades < 0.05 señalan que los datos no son normales.

Las pruebas de normalidad de Jarque-Bera se basan en que si la muestra tiene o no asimetría y curtosis que coinciden con una distribución normal. Un valor grande indica que los errores no se distribuyen normalmente lo que significa que la hipótesis nula se rechaza y si el valor se acerca a cero indica que los datos se distribuyen normalmente.

La **Tabla 46** corresponde al test de normalidad donde este método estadístico permite medir los valores obtenidos, proporcionando un grado de fiabilidad de los valores conseguidos en las pruebas realizadas. Para este ensayo se utilizó la prueba de Jarque-Bera JB donde p (normal) es $p > 0,05$, obteniendo una confiabilidad del 95% de los datos extraídos en los ensayos con acabado ignífugo lavado y no lavado, por lo que se acepta la hipótesis, es decir, que las variedades tienen igual rendimiento.

Tabla 46.
Normalidad de los datos

	PCL (s)	PCT (s)	DL- PCL (s)	DL- PCT(s)	PIL (s)	PIT (s)	DL- PIL (s)	DL- PIT (s)	LMDL (mm)	LMDT (mm)	DL- LMDL (mm)	DL- LMDT (mm)
N	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Jarque -Bera JB	0.963	0.963	0.6464	0.6314	0.9617	0.9592	0.4758	0.4756	0.9403	0.887	0.9099	0.7827
p(norm al)	0.6179	0.6179	0.7238	0.7293	0.6183	0.619	0.7883	0.7884	0.6249	0.6418	0.6345	0.6761

Fuente: El autor. *Nota.* Donde, Post-combustión longitudinal (PCL), Post-incandescencia longitudinal (PIL), Longitud máxima dañada longitudinal (LMDL), Post-combustión transversal (PCT), Post-incandescencia transversal (PIT), Longitud máxima dañada transversal (LMDT), Post-combustión longitudinal después del lavado (DL-PCL), Post-incandescencia longitudinal después del lavado (DL-PIL), Longitud máxima dañada longitudinal después del lavado (DL-LMDL), Post-combustión transversal después del lavado (DL-PCT), Post-incandescencia transversal después del lavado (DL-PIT), Longitud máxima dañada transversal después del lavado (DL-LMDT).

4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

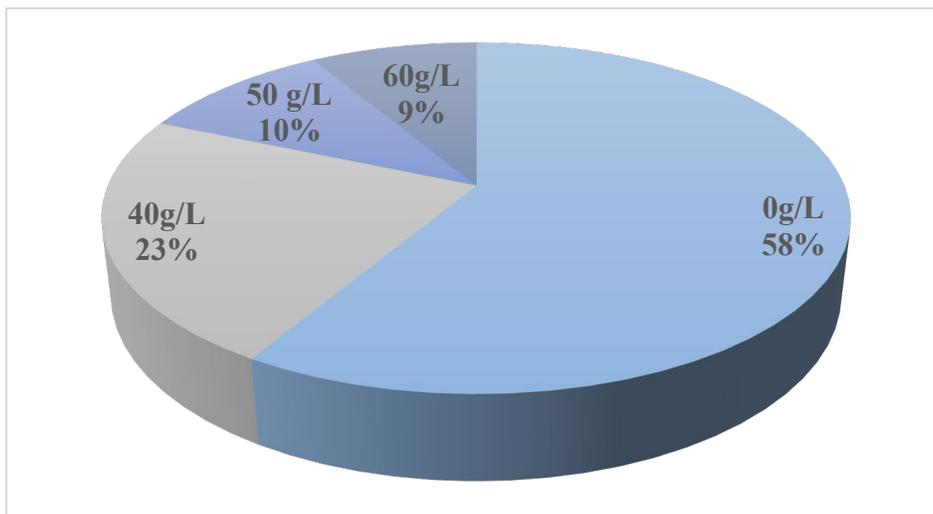
Para la discusión de resultados se empleó los gráficos elaborados en Excel y en el programa estadístico PAST4, con la finalidad de mejorar la comprensión del lector.

- **Gráfico de pastel**

La siguiente figura interpreta la calificación cualitativa obtenida con los datos de la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. Se observa de forma general las probetas lavadas y sin lavar con acabado ignífugo, donde se consideraron las calificaciones de los especímenes después de haber sido sometido al fuego tanto en orientación transversal como en longitudinal; si la llama alcanza el borde superior, si la post-incandescencia se extiende más allá del área inflamada, si desprende residuos y si se forma un agujero. Las muestras con 0 g/L de bórax dan un índice del 58% y se consideran las probetas con características menos favorables. Las muestras con una concentración 40 g/L presentaron una calificación del 23%, por lo que se determinó que el acabado de resistencia a la llama proporciona de forma inmediata una mejora de las propiedades del calcetín, a diferencia del anterior. Los especímenes con concentración de 50 g/L tienen una evaluación del 10%, mejorando aún sus propiedades ignífugas en el calcetín. Los especímenes que disponen de una concentración de 60 g/L califican el 9% de manera que se determina como la mejor concentración de acabado ignífugo.

Figura 11.

Resultados cuantitativos del ensayo ignífugo



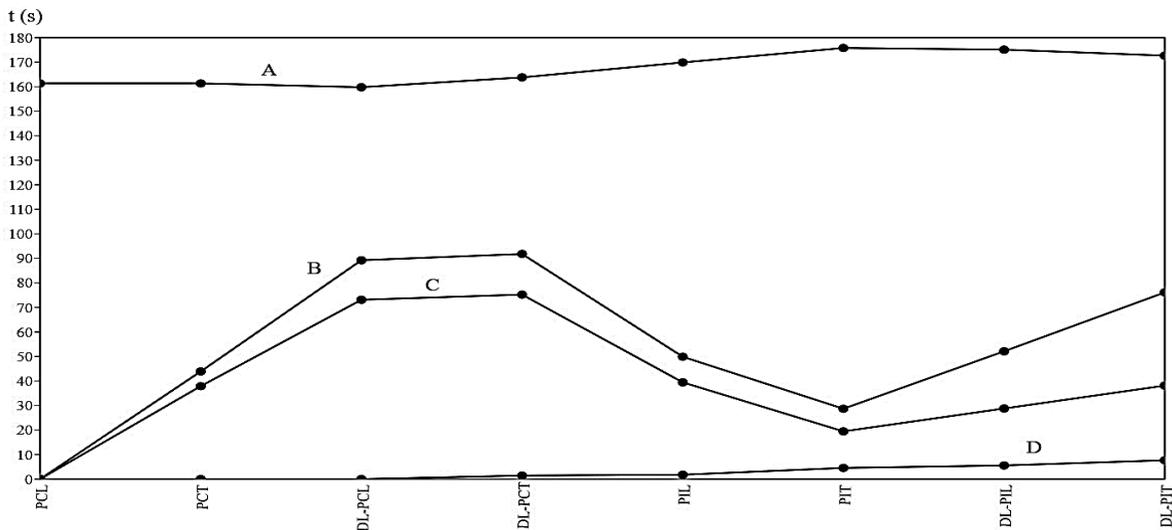
Fuente: El autor.

- **Gráfico de líneas**

El diagrama lineal se utiliza para visualizar la frecuencia de los datos durante un periodo de tiempo y está conformado por una cadena de valores que se plasman a través de puntos conectados por tramos lineales (Kubina et al., 2017). La siguiente figura describe los resultados de la *¡Error!* No se encuentra el origen de la referencia. obtenidos en función del tiempo. El eje “X” representa las abreviaturas de la calificación del ensayo de resistencia a la llama mientras que el eje “Y” corresponde al tiempo en segundos que duró la post-combustión y post-incandescencia; también se empleó letras para representar las concentraciones dónde A= 0 g/L, B=40 g/L, C=50 g/L y D=60 g/L de bórax. Se aprecia que las muestras que no disponen de un acabado ignífugo son propensas a mantener un mayor tiempo en el rango de 160 a 180 segundos de post-combustión y post-incandescencia mientras que los especímenes con concentraciones de 40, 50 y 60 g/L tienen en común el tiempo de la post-combustión en longitudinal es 0 segundos pero en los otros el ascenso y descenso de segundos tiende a variar de según la concentración de bórax, sin embargo, las probetas con 60 g/L tienen las mejores propiedades resistentes al fuego ya que en las dos primeras calificaciones es 0 segundos y en las demás se encuentra en el rango de 0 a 10 segundos, por lo que se considera como la probeta con mejores características de resistencia al fuego.

Figura 12.

Resultados de la concentración de bórax en función del tiempo



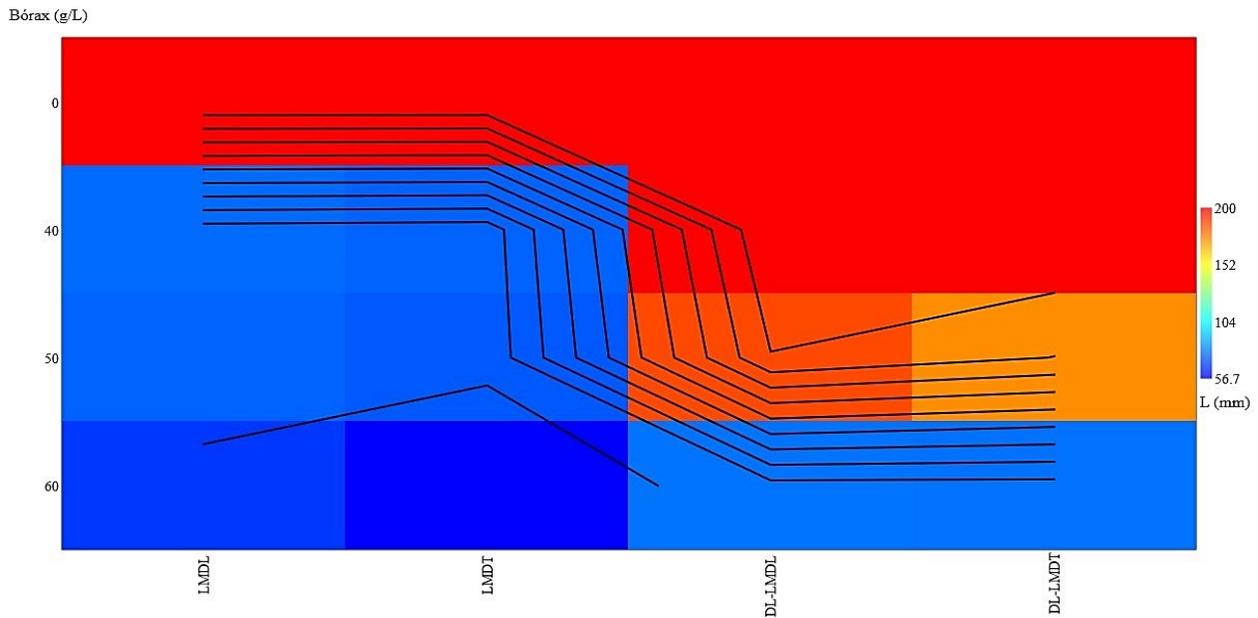
Nota. Se detallan las abreviaturas utilizadas. Post-combustión longitudinal (PCL), Post-incandescencia longitudinal (PIL), Post-combustión transversal (PCT), Post-incandescencia transversal (PIT), Post-combustión longitudinal después del lavado (DL-PCL), Post-incandescencia longitudinal después del lavado (DL-PIL), Post-combustión transversal después del lavado (DL-PCT) & Post-incandescencia transversal después del lavado (DL-PIT).

- **Matrix Plot**

La matrix plot es muy útil para obtener una visión inicial de múltiples datos, permite detectar relaciones entre variables y la presencia de los valores atípicos. Está compuesta por un cuadro de colores en dónde los datos se representan mediante estos (Wang et al., 2016). Para la siguiente figura se han utilizado los datos obtenidos de la **Tabla 44** en función de la longitud quemada. El eje “X” representa las abreviaturas de la longitud máxima alcanzada en trama y urdimbre de las probetas con acabado lavadas y sin lavar, el eje “Y” señala la concentración de bórax en g/L y a la derecha se indica un mapa de colores relacionado con la longitud quemada mínima y máxima en milímetros. Las probetas que no disponen de un acabado ignífugo arden totalmente y se marcan en rojo por lo que se califican como las peores muestras, sin embargo, las probetas con 40 y 50 g/L de concentración sólo presentan buenos resultados antes de ser sometidas al ensayo de lavado, se marcan de color azul definiéndose como muestras con una longitud de quemado menor que la anterior. Los especímenes con inferior longitud de quemado son todas las probetas con concentraciones de 60 g/L marcadas de azul en su totalidad, por lo que se deducen como las muestras con mejores características ignífugas.

Figura 13.

Resultados de la concentración de bórax en función de la longitud de quemado



Nota. Longitud máxima dañada longitudinal (LMDL), Longitud máxima dañada transversal (LMDT), Longitud máxima dañada longitudinal después del lavado (DL-LMDL), Longitud máxima dañada transversal después del lavado (DL-LMDT).

Capítulo V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se evaluó la resistencia a la llama de los calcetines de trabajo con el acabado ignífugo a base de bórax y resina, donde los resultados obtenidos son de gran significancia ya que se consiguió un recubrimiento resistente al fuego en calcetines de 100% algodón para trabajo por el método de pulverizado, satisfaciendo de esta manera con las necesidades de seguridad de las personas que están expuestas a incidentes en donde interviene el fuego.
- La fundamentación de la presente investigación se logró tras las exploraciones de diferentes fuentes confiables que sirvieron como guía para identificar puntos importantes para elaborar un acabado resistente al fuego a base de bórax, de tal manera que se determinaron los productos auxiliares, parámetros de aplicación y las características que debe tener un calcetín de trabajo.
- La cantidad de los productos a utilizar se establecieron después de varias pruebas preliminares hasta obtener de una receta óptima para dotar al calcetín de características ignífugas. El bórax es el producto principal que le confiere al tejido sus propiedades resistentes a la llama, por lo que se consideró como la variable principal (40, 50 y 60 g/L) y los productos auxiliares (resina 25 g/L, ácido fosfórico 0,3 ml/L y suavizante 30 g/L) se mantuvieron constantes en cantidades intermedias de acuerdo a la ficha técnica. Se aplicó el producto mediante el método de pulverizado con el uso de un compresor con una presión de 2 bar y un pick-up superior al 90% obteniendo una significativa capa del acabado.
- Se realizaron las pruebas de resistencia al fuego y lavado doméstico para determinar si las concentraciones empleadas brindan el poder ignífugo al artículo textil antes y después del lavado. Los resultados se califican de forma cualitativa y cuantitativa para ensayo de resistencia a la llama bajo la norma ISO 15025 en el equipo Flexiburn. Las pruebas de lavado se realizaron con la norma ISO 6330 en la máquina Wascator con el nivel 13-4H considerado que un lavado de este equipo equivale a cuatro lavados caseros, posteriormente las probetas se sometieron a un secado y se volvió a realizar el primer ensayo; los valores

obtenidos se distribuyeron de acuerdo a la media aritmética en tres tablas diferentes para datos cuantitativos, en función del tiempo y longitud.

- Se comprobó que la aplicación de bórax, resina y los productos auxiliares que se determinaron en el proceso de investigación brindan un acabado ignífugo a los calcetines de algodón para trabajo. Los resultados se interpretaron en el programa estadístico PAST4 y en Excel, en donde se analizó las muestras con acabado retardante a la llama de probetas lavadas y sin lavar. El análisis de normalidad de los datos de la prueba de Jarque-Bera JB p (normal) es > 0.05 , dando una fiabilidad de los valores obtenidos del 95%. Para los datos cualitativos de las probetas se utilizó el gráfico de pastel en donde se visualizó que las muestras con acabado disponen las mejores características; los resultados en función del tiempo los especímenes normales se queman hasta 162 segundos en transversal y longitudinal, las probetas que disponen 40, 50 y 60 g/L de bórax tienen en común que no presentan post-combustión, pero las dos últimas presentan mayor post-incandescencia en un rango de 174-179,33 segundos. Los resultados resultan favorecedores en una concentración de 60 g/L de bórax ya que la longitud quemada se reduce de manera significativa, la post-incandescencia se mantiene de 1-8,33 segundos y la longitud de quemada oscila entre 56 milímetros en sentido transversal y 67 milímetros en sentido longitudinal, las muestras lavadas tienden a quemarse 78 milímetros en orientación vertical y 78,33 milímetros en orientación horizontal, así se demostró que las muestras con mejores calificaciones son las que disponen de mayor concentración de bórax.

5.2. Recomendaciones

- Aplicar la receta obtenida del acabado ignífugo en tejidos de algodón destinados a prendas de vestir para personas que se exponen al fuego, manteniendo el método de pulverizado y empleando un nuevo método de aplicación para la comparación de resultados en cuanto al método de aplicación utilizado.
- Revisar investigaciones anteriores detenidamente identificando similitudes, diferencias, fallos y aciertos realizados por otros investigadores para que no se repitan técnicas fallidas ya estudiadas.

- Realizar un análisis de confort con las concentraciones máximas e intermedias de los productos auxiliares de acuerdo a las fichas técnicas, determinado así si existe una mejora en el acabado ignífugo obtenido.
- Aplicar el acabado ignífugo alcanzado sobre calcetines con mayor densidad del tejido para determinar si esta característica influye en la evaluación del retardo de la llama del artículo textil.
- Realizar nuevas dosificaciones con el ácido fosfórico y mantener constantes los demás productos de la receta planteada de tal forma que se determine si se puede aumentar el número de lavados.

5.3. Referencias bibliográficas

- Agustín, S., Ortega, A., Alexandra, K., & Vega, C. (2019). *Estudio de ingeniería de la máquina tejedora circular industrial marca Mayer & CIE. para la industria Textiles del Pacífico.*
- Ahmad, F., Pervez, K., Zuber, M., & Nosheen, S. (2003). *Optimum conditions for the synthesis of dimethylol urea textile fixer.* <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.3923/jas.2003.151.153>
- Ahmad, S., Wasim, S., Irfan, S., Gogoi, S., Srivastava, A., & Farheen, Z. (2019). Qualitative v/s. Quantitative Research- A Summarized Review. *Journal of Evidence Based Medicine and Healthcare*, 6(43), 2828–2832. <https://doi.org/10.18410/jebmh/2019/587>
- Alam, S. S. (2021). A critical study of the effects of flame retardancy on different knit fabrics. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, Volume 7*(Issue 3), 105–109. <https://doi.org/10.15406/JTEFT.2021.07.00275>
- Amazon. (2016). *calcetín blanco.*
- Amsaveni, M. (2018). *WEFT KNITTING* (p. 61).
- Archana, S., & Bordes, R. (2020, January 13). Conductive textiles prepared by spray coating of water-based graphene dispersions. *RSC Advances*, 10(4), 2396–2403. <https://doi.org/10.1039/C9RA09164E>
- ATSDR. (2010). *CS258257-A ToxFAQs™ sobre el boro.*

- Basyigit, Z. O. (2021). Application Technologies for Functional Finishing of Textile Materials. In B. Kumar (Ed.), *Textiles for Functional Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.95956>
- Buyukakinci, B. Y., & Tezcan, E. (2018). ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF COTTON FABRICS TREATED WITH 8-HYDROXYQUINOLINE AND BORAX. *CBU International Conference Proceedings*, 6, 1024–1029. <https://doi.org/10.12955/CBUP.V6.1289>
- Choudhury & Kumar. (2017). Flame- and fire-retardant finishes. In *Principles of Textile Finishing* (pp. 195–244). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100646-7.00008-4>
- CTEX. (2020). *Los laboratorios que forman parte de la Carrera de Textiles CTEX están enfocados a. 9.*
- Dingley, W. F. (1931). The borax industry in Southern California. *Journal of Chemical Education*, 8(11), 2113–2125. <https://doi.org/10.1021/ED008P2112>
- Eichhoff, J., Hehl, A., Jockenhoevel, S., & Gries, T. (2013). Textile fabrication technologies for embedding electronic functions into fibres, yarns and fabrics. *Multidisciplinary Know-How for Smart-Textiles Developers*, 191–226. <https://doi.org/10.1533/9780857093530.2.191>
- Elbadawi, A. M., & Pearson, J. S. (2003). Foam Technology in Textile Finishing. *Textile Progress*, 33(4), 1–31. <https://doi.org/10.1080/00405160308688960>
- Galih, V., Putra, V., Wijayono, A., Juliany, D., & Mohamad, N. (2020). Novel Method for Fire Retardancy of Cotton Fabrics Coated by Spinach Leaf Extract Assisted by Corona Discharge Plasma. *Dinamika Kerajinan Dan Batik: Majalah Ilmiah*, 37(2), 207–218. <https://doi.org/10.22322/DKB.V37I2.6038>
- Gazulla, M. F., Gómez, M. P., Orduña, M., & Silva, G. (2005). *Cerámica y Vidrio Caracterización química, mineralógica y térmica de boratos naturales y sintéticos.*
- Gianchandani, P. K. (2014). *Socks and its manufacturing.* https://www.researchgate.net/publication/236875339_Socks_and_its_manufacturing
- Google Maps. (2022). *Ingeniería Textil.*

- Goswami, P. (2013). Encyclopedia of Color Science and Technology. *Encyclopedia of Color Science and Technology, i*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-27851-8>
- GROZ-BECKERT. (2022). *Knitting Legwear*. <https://www.groz-beckert.com/en/products/knitting/legwear/>
- Hao, J., Sun, R., Wang, Q., Gao, S., & Chen, M. (2021). EFFECT OF FIBER MATERIALS ON THE THERMAL AND MOISTURE COMFORT PROPERTIES OF SOCKS. *25(3B)*, 2295–2302. <https://doi.org/10.2298/TSCI200601118H>
- Harland, D. (2021). An Introduction to Experimental and Exploratory Research. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3789360>
- Hasin, S. (2020). *Types Of Textile Finishing [Understanding The Background]*. <https://www.textileproperty.com/types-of-textile-finishing/>
- Islam, Md. S., & Van de Ven, Theo. G. M. (2021). Cotton-based flame-retardant textiles: A review. In *BioResources* (Vol. 16, Issue 2, pp. 4354–4381). <https://doi.org/10.15376/biores.16.2.islam>
- Joshi, M., & Butola, B. S. (2013). Application technologies for coating, lamination and finishing of technical textiles. *Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles*, 355–411. <https://doi.org/10.1533/9780857097613.2.355>
- Kallet, R. (2024). How to Write the Methods Section of a Research Paper. *Social Research Methodology*, *8(1)*, 46–57.
- Katović, D., Grgac, S. F., Bischof-Vukušić, S., & Katović, A. (2012). Formaldehyde free binding system for flame retardant finishing of cotton fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, *90(1)*, 94–98.
- Kubina, R. M., Kostewicz, D. E., Brennan, K. M., & King, S. A. (2017). A Critical Review of Line Graphs in Behavior Analytic Journals. *Educational Psychology Review*, *29(3)*, 583–598. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9339-x>
- Lam, Y. L., Kan, C. W., & Yuen, C. W. M. (2012). Developments in functional finishing of cotton fibres – wrinkle-resistant, flame-retardant and antimicrobial treatments.

[Http://Dx.Doi.Org/10.1080/00405167.2012.735517](http://dx.doi.org/10.1080/00405167.2012.735517), 44(3–4), 175–249.

<https://doi.org/10.1080/00405167.2012.735517>

Lavrakas, P. (2013). Research Hypothesis. *Encyclopedia of Survey Research Methods*.

<https://doi.org/10.4135/9781412963947.N472>

Lewin, M., & Weil, E. D. (2001). Mechanisms and modes of action in flame retardancy of polymers. *Fire Retardant Materials*, 31–68. <https://doi.org/10.1533/9781855737464.31>

Mamalis, P., Andreopoulos, A., & Spyrellis, N. (2001). The effect of a durable flame-retardant finishing on the mechanical properties of cotton knitted fabrics. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 13(2), 132–144.

<https://doi.org/10.1108/09556220110390746>

Miri, S. M., & Shahrokh, Z. D. (2019). *A Short Introduction to Comparative Research A Short Introduction to Comparative Research Philosophy of Science and Research Method. October*.

Mishra, P., Pandey, C. M., Singh, U., Gupta, A., Sahu, C., & Keshri, A. (2019). Descriptive Statistics and Normality Tests for Statistical Data. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(1), 67.

https://doi.org/10.4103/ACA.ACA_157_18

Nasr, G. G., Yule, A. J., & Bendig, L. (2002). Background on Sprays and Their Production. *Industrial Sprays and Atomization*, 7–33. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3816-7_2

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 803:2013 Primera revisión EQUIPO CONTRA INCENDIOS. VESTIMENTA RESISTENTE AL CALOR. REQUISITOS. Primera Edición, (2013).

Ozcan, G., Dayioglu, H., & Candan, C. (2006). Application of flame retardant products to knitted fabric. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 31(2), 330–334.

Özdül, N., Marmarali, A., & Oğlakcioğlu, N. (2009). The abrasion resistance of socks. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 21(1), 56–63.

<https://doi.org/10.1108/09556220910923755>

- Pablo Marcelo Puente Carrera *, Darwin José Esparza Encalada, E. S. M. M., & INTEX. (2019). Características técnicas convencionales de la ropa de trabajo para mitigar los riesgos laborales en el contexto ecuatoriano. *Novasinerгия Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 2(2), 84–93. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.04.09>
- Pal, A., Kumar Samanta, A., Bagchi, A., Samanta, P., & Ranjan Kar, T. (2020). A Review on Fire Protective Functional Finishing of Natural Fibre Based Textiles: Present Perspective. *Juniper Publishers*, 7(1). <https://doi.org/10.19080/CTFTTE.2020.07.555705>
- Rearick, G. A. (2000). *Methods for reducing the flammability of cellulosic substrates*.
- Saleem, M., Khanif Yusop, M., Ishak, F., Wahid Samsuri, A., Hafeez, B., Khanif YUSOP, M., & Wahid SAMSURI, A. (2011). Soil Science and Plant Nutrition Boron fertilizers borax and colemanite application on rice and their residual effect on the following crop cycle Boron fertilizers borax and colemanite application on rice and their residual effect on the following crop cy. *Soil Science and Plant Nutrition*, 57, 403–410. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.582589>
- Samanta, K. K., Basak, S., & Chattopadhyay, S. K. (2015). Sustainable Flame-Retardant Finishing of Textiles Advancement in Technology. *Handbook of Sustainable Apparel Production*, 18–53. <https://doi.org/10.1201/B18428-5>
- Sauca, S. (2012). Synthesis, characterization and application of polymeric flame retardant additives obtained by chemical modification. In *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Universitat Rovira i Virgili.
- Schindler & Hauser. (2004). Flame retardant finishes. In *American Association of Textile Chemists and Colorists Annual International Conference and Exhibition 2005* (pp. 98–116). <https://doi.org/10.1533/9781845690373.98>
- Semnani, D. (2011). Advances in circular knitting. *Advances in Knitting Technology*, 171–192. <https://doi.org/10.1533/9780857090621.2.171>
- Spainhour, C. B. (2014). Phosphoric Acid. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 916–919. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00904-0>

- Tariq, M. (2015). *HYPOTHETICO-DEDUCTIVE METHOD : A COMPARATIVE ANALYSIS HYPOTHETICO-DEDUCTIVE METHOD : A COMPARATIVE ANALYSIS*. April.
- Trabucco, S., Ortelli, S., Del Secco, B., Zanoni, I., Belosi, F., Ravegnani, F., Nicosia, A., Blosi, M., & Costa, A. L. (2021). Monitoring and optimisation of ag nanoparticle spray-coating on textiles. *Nanomaterials*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/nano11123165>
- Uddin, F. (2013). *Recent development in combining flame- retardant and easy- care finishing for cotton RECENT DEVELOPMENT IN COMBINING FLAME-RETARDANT AND EASY-CARE FINISHING FOR COTTON*. June.
- UTN. (2021). *CUICYT – Universidad Técnica del Norte*.
<https://www.utn.edu.ec/cuicyt/#1638195159181-36625c2c-87c5>
- Van der Veen, I., & de Boer, J. (2012). Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*, 88(10), 1119–1153.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2012.03.067>
- van Krevelen, D. W., & te Nijenhuis, K. (2009). Product Properties (II): Environmental Behaviour and Failure. *Properties of Polymers*, 847–873. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-054819-7.00026-1>
- Wang, W. B., Huang, M. L., & Nguyen, Q. V. (2016). A space optimized scatter plot matrix visualization. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9929 LNCS(January 2018), 382–385. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46771-9_50
- Yashovardhan & Deshpande. (2014). *Flame retardant finishing for textiles*.
https://www.researchgate.net/publication/290092838_Flame_retardant_finishing_for_textiles
- Yildirim, F. (2019). *Improving the Flame Retardant Properties of Cotton Fabrics With Boron Compounds*. October, 26–44.

5.4. Anexos



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



Ibarra, 27 de julio del 2022

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 la señorita **ANDREA MARICELA CARLOSAMA CABASCANGO**, portadora de la cedula de ciudadanía N° 045019334-7, ha realizado ensayos de laboratorio referentes al Proyecto de Tesis de grado titulado "EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA LLAMA DE UN ACABADO CON BÓRAX EN CALCETINES 100% ALGODÓN PARA TRABAJO, POR EL MÉTODO DE PULVERIZADO", los equipos utilizados en el laboratorio son:

- **FLEXIBURN**- Norma ISO 15025:2000(E) para determinar la propagación de la llama en tejidos.
- **WASCATOR**- Norma ISO 6330:2012 para procedimientos de lavado y de secado domésticos para los ensayos de textiles.
- **HORNO DE SECADO AL VACÍO (VACUUM OVEN)**
- **BALANZA ELECTRÓNICA**

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

Atentamente:

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

Anexo 1. Certificado de laboratorio



Preparación de muestras



Pesaje de los productos químicos



Prueba de pH del bórax



Diferentes concentraciones de bórax



Disolución del boráx a 35°C



Pipetear productos químicos

Anexo 2. Preparación del acabado ignífugo



Disolución de los compuestos



Prueba de pH del acabado ignífugo



Preparación de la muestra



Aplicación del bórax por pulverizado



Secado de las muestras



Colocación de muestras en el flexiburn

Anexo 3. Proceso del acabado retardante al fuego



Medición de longitud máxima del quemado



Ensayo de lavado

Anexo 4. Resultados en el equipo Flexiburn y lavado de probetas en Wascator



LA CASA DEL QUÍMICO

Productos Químicos
Material de Laboratorio y Envases

BRAND NAME:	THREE ELEPHANT® Borax
CHEMICAL NAME:	Sodium tetraborate decahydrate
OTHER NAMES:	Borax decahydrate, sodium baborate decalhydrate
FORMULA:	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
MOLECULAR WEIGHT:	381.37
CAS/TSCA NUMBER:	1303-96-4
DESCRIPTION:	White, crystalline solid. The surface of the crystal is usually chalk white as a result of partial loss of water of hydration.
GRADES:	Technical standard

PROPERTIES: If you require guidance in developing product specifications, please contact the Quality Assurance Supervisor at 760-372-2243.

CHEMICAL ANALYSIS

	TYPICAL RANGE	STANDARD SPECIFICATION
Decahydrate Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	100.0 - 101.5 %	100.0 % min
Anhydrous Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)	52.8 - 55.1 %	52.8 % min
Boric Oxide (B_2O_3)	36.5 - 38.2 %	36.5 % min
Sodium Oxide (Na_2O)	16.3 - 17.0 %	16.3 % min
Water of Crystallization (H_2O)	44.9 - 47.2 %	47.2 % max
Chloride (Cl)	10 - 200 ppm	200 ppm max

SCREEN ANALYSIS (% cum. retained)

U.S. STD. SIEVE NO.	TYPICAL RANGE	STANDARD SPECIFICATION
+30	0 - 5 %	5.0 % max
+40	5 - 30 %	----
+60	30 - 75 %	----
+100	75 - 95 %	----

ANGLE OF REPOSE, horizontal
33 degrees

BULK DENSITY, poured
Typical range: 55 - 66 lbs/ft³

Note: All data in the above specification are determined by Staples Valley Minerals analytical methods.

PACKAGING

Minimum Paper Bags: 50 lb and 25 Kg
Super-bulk Bags: 2000 lb and 1000 Kg
Bulk: Trucks

HANDLING

Information concerning the handling and use of this product is provided in a material safety data sheet (MSDS). This MSDS must be fully read and understood prior to any exposure, handling, or use of the product.

The information herein is believed to be reliable. However, no warranty, expressed or implied, is made as to its accuracy or completeness and none is made as to merchantability of the material or its fitness for any purpose. The manufacturer shall not be liable for consequential damages or for damage to persons or property resulting from its use. Nothing herein shall be construed as a recommendation for use in violation of any patent.

Correo: info@lacasadelquimico.com / lacasadelquimico.ec@outlook.com

Principal: Av. Cevallos 11-08 y Eloy Alfaro (esq. 2do. piso) AMBATO / Teléfono: 032423054 - 0992 208 005

Sucursal 1 José María Urbina 180 y Vicente Solano (Sector Plaza Urbina) AMBATO / Teléfono: 0995 881 114

Sucursal 2 Pichincha y Olmedo (esquina)- RIOBAMBA / Teléfono: 0990 077 737- 0995 881 114

Sucursal 3 Benjamín Terán y Aurelio Mosquera -LATACUNGA/ Teléfono: 0995 881 114

ENVIOS A NIVEL NACIONAL 0995 881 114



Anexo 5. Ficha técnica del bórax.

SYQ94

SEYFIX-SYQ

INFORMACION TECNICA

Fijador para el post tratamiento catiónico para mejorar la solidez al lavado de los colorantes directos y reactivos sobre la fibra celulósicas.

PROPIEDADES

Composición:	Polímero Policondensado con nitrógeno
Carácter:	Catión activo
Apariencia	Líquido traslúcido con notable viscosidad
Color	Transparente
Olor	Característico
pH:	En solución al 1% 7.0 +/-0.5
Solubilidad:	Diluíble en agua fría en cualquier proporción.

CARACTERISTICAS

- Aumenta las solidez al agua, schwitzen y al planchado húmedo y también la solidez al lavado de los colorantes directos sobre fibras celulósicas, naturales y de regeneración.
- Evita la baja solidez al lavado en el caso de colorantes reactivos, si hay hidrólisis de este colorante.
- Como todos los pos tratamientos catiónicos tiene una influencia insignificante en el tono del color y en la solidez a la luz.
- Es usado con colorantes que necesitan un pos tratamiento con sales de cobre el, se puede usar con éxito combinado con sulfato de cobre y ácido acético en el mismo baño.
- Es compatible con productos no-iónicos y catiónicos. Con productos aniónicos hay precipitación.



LA CASA DEL QUÍMICO
— Productos Químicos —
Material de Laboratorio y Envases

PRODUCTO: ÁCIDO FOSFÓRICO 85% GRADO TÉCNICO

NOMENCLATURA: Ácido Fosfórico Ácido Ortofosfórico

FÓRMULA QUÍMICA: H₃PO₄

PESO MOLECULAR: 98,00

CAS: 7664-38-2

GRADO: Técnico

DESCRIPCIÓN: Líquido denso, límpido, miscible con agua y alcohol en todas las proporciones

CONCENTRACIÓN: Solución acuosa conteniendo 85% de H₃PO₄ en peso

DENSIDAD: 1,685 g/cm³ (25°C)

PRECAUCIONES: Evitar contacto con piel y ojos. En el caso de contacto accidental, lavar las partes afectadas en agua corriente por 15 minutos. Para los ojos, busque atención médica.

PRESENTACIÓN: A granel o en bidones de 40 Kg

VALIDAD: 02 años

Correo: info@lacasadelquimico.com / lacasadelquimico.ec@outlook.com
Principal: Av. Cevallos 11-08 y Eloy Alfaro (esq. 2do. piso) AMBATO / Teléfono: 032423054 – 0992 208 005
Sucursal 1 José María Urbina 180 y Vicente Solano (Sector Plaza Urbina) AMBATO / Teléfono: 0995 881 114
Sucursal 2 Pichincha y Olmedo (esquina)- RIOBAMBA / Teléfono: 0990 077 737- 0995 881 114
ENVÍOS A NIVEL NACIONAL 0995 881 114



Anexo 7. Ficha técnica del ácido fosfórico.

SUAVIZANTE OE/2

Suavizante antiestático



CARACTERÍSTICAS

<i>Composición Química:</i>	Condensado de ácido graso
<i>Aspecto:</i>	Líquido viscoso de color blanco
<i>Carácter iónico:</i>	Catiónico
<i>pH (10%):</i>	Aprox. 4.5
<i>Densidad (20 °C):</i>	0.95 – 0.99 g/cm ³

Se recomienda diluir el producto en agua a 50-60°C

PROPIEDADES Y VENTAJAS DE APLICACIÓN

- El **SUAVIZANTE OE/2** es un producto eficaz para toda clase de fibras de fibras en general y para las sintéticas en particular, en todos los estados de presentación. Está especialmente indicado para hilados open-end.
- Comunica al género un tacto suave y fresco, una notable capacidad antiestática, especialmente en fibras sintéticas, y no altera prácticamente la hidrofiliidad de los géneros tratados.
- Posee una estabilidad térmica elevada por lo que no incide negativamente ni en el grado de blanco ni en las solideces a la termomigración.
- Es aplicable tanto por agotamiento como por impregnación en foulard.

Los datos facilitados en esta circular deben considerarse orientativos. Han sido obtenidos a través de nuestra experiencia a nivel de laboratorio e industrial pero debido a la diversidad de aplicaciones, no se puede asumir la responsabilidad de los efectos obtenidos.

COLOR CENTER, S.A.
Ptge. Marie Curie, 3 Nau 6, 08223 TERRASSA, España
<http://www.colorcenter.es> info@colorcenter.es



Edición: nov.-13

1/2

Anexo 8. Ficha técnica del suavizante.



COMPRESOR 50 LITROS, LUBRICADO



CÓDIGO: 19011

CLAVE: COMP-50L

CARACTERÍSTICAS

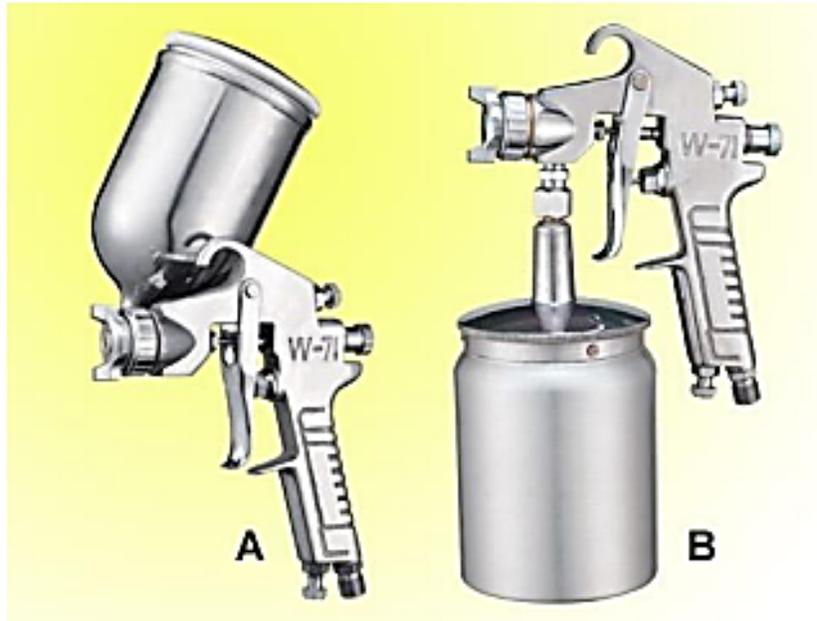
- Motor con devanado de cobre, arranque automático y manual
- Protector térmico contra sobrecalentamiento del motor
- 2 Manómetros con presostato y 2 salidas de aire: presión máxima y presión regulable
- Control con doble función, de encendido y apagado u operación de marcha continua

ESPECIFICACIONES

Potencia máxima	3 1/2 HP (2,610W)
Potencia nominal	2 1/2 HP (1,875W)
Tensión	120 V
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3,400 rpm
Capacidad del tanque	50 L
Presión máxima	800 kPa (116PSI)
Tipo	Monofásico
Flujo continuo	246 L/min
Largo	71 cm
Ancho	40 cm
Alto	70 cm
Peso	33 kg
Empaque individual	Caja

DP-6321

China Pistola de Pintar de alta presion de Gravedad & succion



Fabricacion y exportacion de Herramientas Neumaticas (pistolas de pintar, HVLP, LVLP, convencional, digital, pistolas de alta presion & baja presion, de Gravedad & succion, mini pistolas de pintar, Pistola de pintar electrica, juego de pistola de pintar y bomba sin aire etc)

MOD.DP-6321/ W-71

Pistolas de Pintar de alta presion de Gravedad & succion

- * Boquilla 1.0 / 1.5mm etc
- * Presion de trabajo: 45-60psi
- * Boquilla de fluido y Aguja de Inoxidable.
- * Alimentacion por Gravedad & Succion
- * Mezcla externa
- * Control de abanico, de pinturay, control de presion
- * Alta eficiencia en transferencia de pintura
- * Recipiente (Taza) A:300cc B:600cc(aluminio)
- * Patrón de rociadura grande: 140-260mm



Anexo 10. Especificaciones técnicas de la pistola de pintar W-71. Nota. Se utilizó la opción A con una boquilla de flujo plano.