



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“IMPLEMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD EN MATERIALES TEXTILES DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D6413 PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE MECÁNICA”

AUTOR: Fernando Efraín Yunda Buñay

TUTOR: Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

AMBATO – ECUADOR

Septiembre – 2023

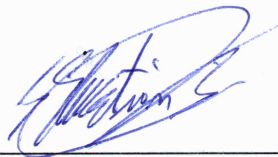
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD EN MATERIALES TEXTILES DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D6413 PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE MECÁNICA”**, elaborado por el Sr. Fernando Efraín Yunda Buñay, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1804415717, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, septiembre 2023



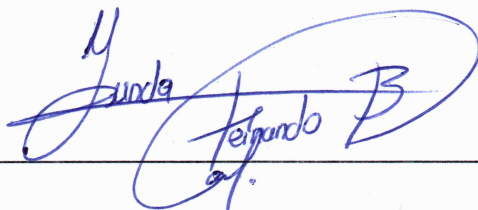
Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fernando Efraín Yunda Buñay, con C.I. 1804415717, declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Proyecto Técnico con el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD EN MATERIALES TEXTILES DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D6413 PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE MECÁNICA”**, así como también los análisis estadísticos, ideas, criterios, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, septiembre 2023



Fernando Efraín Yunda Buñay

C.I. 1804415717

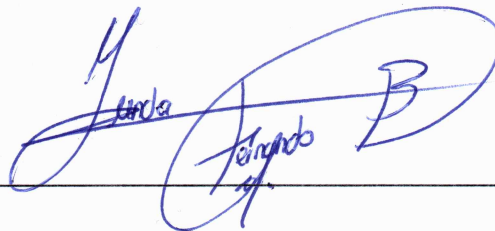
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, septiembre 2023



Fernando Efraín Yunda Buñay

C.I. 1804415717

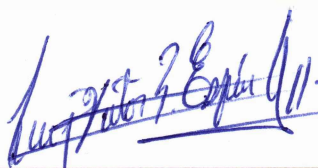
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Fernando Efraín Yunda Buñay, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS TÉCNICOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD EN MATERIALES TEXTILES DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM D6413 PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE MECÁNICA”**.

Ambato, septiembre 2023

Para constancia firma:



Ing. Mg. Víctor Rodrigo Espín Guerrero
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Pablo Raúl Valle Velasco, Ph.D
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis queridos padres Esteban Yunda y Carmen Buñay, quienes con experiencias vividas me han enseñado a ser un hombre de bien, trabajador, a no rendirme ante las adversidades y siempre seguir de pie, por demostrarme que con esfuerzo y perseverancia los sueños se cumplen.

A mi hermano Diego, quien con sus ánimos y consejos nunca dejó que me rindiera ni abandonara mis sueños, quien me extendió su mano a pesar de los malos momentos por los que atravesaba, por hacer de mis sueños parte de los suyos.

También se la dedico a mi querida hermana Abigail, quien con su apoyo incondicional, cariño y comprensión hizo de mi vida universitaria un poco más fácil, quien supo escucharme y brindarme un consejo cuando me encontraba confundido.

A mis hermanos menores Mateo y Dylan, a quienes espero servirles como ejemplo en su vida estudiantil y luchen por cumplir todos sus sueños y metas sin importar los obstáculos de la vida.

“Que nuestros errores no pudran nuestros sueños”

Valor Interior

Fernando Efraín Yunda Buñay

AGRADECIMIENTO

El camino no fue fácil, sin embargo, no me queda más que decir: “Papá, mamá, hermanos, ¡Lo logramos!, un poco tarde, pero ¡LO LOGRAMOS!”

Agradezco a Dios por brindarme la sabiduría necesaria para poder cumplir con este sueño, a mis padres y hermanos quienes con su apoyo incondicional me han brindado la fuerza de voluntad necesaria para seguir adelante y no rendirme, por hacer de mis triunfos y fracasos parte de los suyos, por ponerse en mis zapatos y brindarme su comprensión, unas gracias infinitas por las oraciones de mi padre y mi madre, las cuales cuidaron de mi e hicieron posible llegar a estas instancias de mi vida.

Un sincero agradecimiento a mi tutor de tesis el Ingeniero Christian Castro, quien con su paciencia y conocimiento me guio en el desarrollo de cada una de las etapas de este proyecto y así cumplir con esta anhelada meta.

Un agradecimiento especial a Micaela, por compartir conmigo esta etapa tan importante de mi vida, por creer y confiar en mí. A José Luis, por su amistad sincera y apoyo incondicional durante tantos años.

Fernando Efraín Yunda Buñay

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
ÍNDICE DE TABLAS	xxi
RESUMEN EJECUTIVO	xxix
ABSTRACT.....	xxx
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.....	1
1.1.1. Justificación.....	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Marco teórico	5
1.3.1. Norma.....	5
1.3.1.1. Norma NTE INEN – ISO/IEC 17025.....	5
1.3.1.2. Norma ASTM D6413	5
1.3.2. Origen y fundamentación.....	6
1.3.3. Materiales.....	6
1.3.3.1. Textiles.....	6

1.3.3.2.	Características de las fibras textiles en la industria	7
1.3.3.3.	Clasificación de las fibras textiles	7
1.3.3.4.	Fibras naturales	7
1.3.3.4.1.	Clasificación de las fibras naturales por su origen	8
1.3.3.4.2.	Fibras vegetales	8
1.3.3.4.2.1.	Características generales de las fibras vegetales	9
1.3.3.4.3.	Fibras animales	9
1.3.3.4.3.1.	Características generales de las fibras animales	10
1.3.3.4.4.	Fibras minerales	10
1.3.3.5.	Fibras químicas	11
1.3.3.5.1.	Fibras artificiales	12
1.3.3.5.1.1.	Características generales de las fibras artificiales	12
1.3.3.5.2.	Fibras sintéticas	12
1.3.3.5.2.1.	Clasificación de las fibras sintéticas	13
1.3.3.5.2.2.	Características generales de las fibras sintéticas	13
1.3.4.	Fuego	14
1.3.4.1.	Triángulo del fuego	14
1.3.4.2.	Combustible	14
1.3.4.3.	Comburente	15
1.3.4.4.	Calor	15
1.3.5.	Combustión	16
1.3.5.1.	Combustión lenta	16
1.3.5.2.	Combustión rápida	16
1.3.5.2.1.	Explosión por detonación	16
1.3.5.2.2.	Explosión por deflagración	16
1.3.5.3.	Combustión completa	16
1.3.5.4.	Combustión incompleta	17

1.3.5.5.	Combustión con exceso de aire	17
1.3.5.6.	Combustión con defecto de aire.....	17
1.3.5.7.	Combustión estequiométrica.....	17
1.3.6.	Llama.....	17
1.3.7.	Velocidad de propagación de llama	17
1.3.8.	Temperatura o punto de ignición	18
1.3.8.1.	Temperatura o punto de auto- ignición.....	18
1.3.9.	Inflamabilidad	18
1.3.10.	Índice de inflamabilidad	19
1.3.11.	Límites de inflamabilidad.....	19
1.3.12.	Límite inferior de inflamabilidad	19
1.3.13.	Límite superior de inflamabilidad	19
1.3.14.	Rango de inflamabilidad.....	20
1.3.15.	Punto de mezcla ideal.....	20
1.3.16.	Tipos de ensayos para determinar el índice de inflamabilidad de materiales.....	21
1.3.16.1.	Banco de pruebas horizontal para la determinación del índice de inflamabilidad de los materiales.....	21
1.3.16.2.	Banco de pruebas vertical para la determinación del índice de inflamabilidad de los materiales.....	22
1.3.17.	Conductividad térmica en textiles	23
1.3.18.	Combustión en fibras textiles	23
1.3.19.	Factores que influyen en la inflamabilidad de los textiles	25
1.3.20.	Textiles utilizados en ensayos de inflamabilidad vertical	25
1.3.20.1.	Textil Nomex - Ignífugo.....	25
1.3.20.2.	Textil Antifluidos	26
1.3.20.2.1.	Ventajas de la tela Antifluidos	27

1.3.20.3. Textil Denim (Jeans)	27
1.3.20.4. Textil Poliéster.....	27
1.3.20.5. Textil Algodón.....	28
CAPÍTULO II	30
METODOLOGÍA	30
2.1. Materiales.....	30
2.1.1. Recursos humanos.....	33
2.1.2. Recursos institucionales	33
2.2. Métodos.....	33
2.2.1. Investigación bibliográfica.....	33
2.2.2. De campo	33
2.2.3. Aplicada	34
2.2.4. Análisis y síntesis.....	34
2.2.5. Experimental	34
2.3. Metodología de proceso	34
2.3.1. Procedimiento para la creación del sistema de gestión.....	34
2.3.2. Procedimiento para el desarrollo de ensayos de inflamabilidad	36
2.3.3. Longitud de carbonización.....	37
2.3.4. Tiempo de llama posterior y duración del resplandor residual	38
2.3.5. Cálculo de la tasa de combustión.....	38
CAPÍTULO III.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1. Descripción de la empresa	39
3.1.1. Misión y visión.....	39
3.2. Análisis y discusión de los resultados.....	39
3.3. Requisitos relativos a los recursos	40
3.3.1. Generalidades.....	40

3.3.2. Personal.....	40
3.3.3. Instalaciones y condiciones ambientales.....	41
3.3.4. Equipamiento	42
3.3.5. Trazabilidad metrológica	42
3.3.6. Productos y servicios suministrados externamente.....	43
3.4. Requisitos del proceso.....	43
3.4.1. Revisión de solicitudes, ofertas y contratos	43
3.4.2. Selección, verificación y validación de métodos	43
3.4.2.1. Selección y verificación de métodos.....	43
3.4.2.2. Validación de los métodos	44
3.4.3. Muestreo.....	44
3.4.4. Manipulación de los ítems de ensayo o calibración.....	44
3.4.5. Registros técnicos.....	44
3.4.6. Evaluación de la incertidumbre de medición	44
3.4.7. Aseguramiento de la validez de los resultados	46
3.4.8. Informe de resultados.....	46
3.4.8.1. Requisitos para informe de resultados del ensayo	46
3.4.8.2. Información sobre declaraciones de conformidad	47
3.4.8.3. Información sobre opiniones e interpretaciones	47
3.4.8.4. Modificación de informes	47
3.4.9. Quejas.....	47
3.4.10. Trabajo no conforme	48
3.4.11. Control de los datos y gestión de la Información.....	48
3.5. Requisitos del sistema de gestión.....	49
3.5.1. Control de documentos	49
3.5.2. Control de registros	49
3.5.3. Acciones para abordar riesgos y oportunidades.....	49

3.5.4. Mejora	49
3.5.5. Acciones correctivas	50
3.5.6. Auditorías internas	50
3.5.7. Revisiones por la dirección	50
3.6. Implementación del sistema de gestión.....	50
3.7. Desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical para materiales textiles	51
3.7.1. Validación del método	51
3.7.1.1. Criterios para la aceptación del sistema de medición	51
3.7.1.1. Criterios para la aceptación de los componentes de la varianza	52
3.7.2. Ensayo de inflamabilidad en Textil Nomex o Ignífugo.....	52
3.7.2.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Nomex).....	53
3.7.2.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Nomex)	56
3.7.2.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Nomex)	59
3.7.2.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Nomex) .	59
3.7.2.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Nomex).....	63
3.7.2.6. Tasa de combustión (Textil Nomex).....	66
3.7.2.7. Validación del método mediante software especializado	66
3.7.2.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Nomex).....	67
3.7.2.9. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Nomex)	71
3.7.2.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Nomex)	72
3.7.2.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Nomex)	72
3.7.2.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Nomex).....	75
3.7.2.13. Validación del método mediante software especializado	77

3.7.3. Ensayos de inflamabilidad en Textil Antifluidos.....	78
3.7.3.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Antifluidos)	78
3.7.3.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Antifluidos).....	82
3.7.3.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Antifluidos).	84
3.7.3.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Antifluidos)	87
3.7.3.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Antifluidos)	87
3.7.3.6. Tasa de combustión (Textil Antifluidos)	89
3.7.3.7. Validación del método mediante software especializado (Textil Antifluidos)	92
3.7.3.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Antifluidos)	93
3.7.3.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Antifluidos)	93
3.7.3.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Antifluidos)	94
3.7.3.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Antifluidos).....	98
3.7.3.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Antifluidos)	99
3.7.3.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Antifluidos)	102
3.7.3.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Antifluidos)	102
3.7.3.13. Tasa de combustión (Textil Antifluidos)	104
3.7.3.14. Validación del método mediante software especializado (Textil Antifluidos)	106

3.7.3.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Antifluidos)	107
3.7.3.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Antifluidos)	108
3.7.4. Ensayos de inflamabilidad – Textil Denim (Jeans)	109
3.7.4.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Denim)	109
3.7.4.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Denim)	113
3.7.4.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Denim)	115
3.7.4.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Denim)	118
3.7.4.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Denim)	120
3.7.4.6. Tasa de combustión (Textil Denim)	122
3.7.4.7. Validación del método mediante software especializado (Textil Denim)	124
3.7.4.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Denim)	125
3.7.4.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Denim)	125
3.7.4.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Denim)	126
3.7.4.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Denim)	130
3.7.4.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Denim)	131
3.7.4.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Denim)	134
3.7.4.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Denim)	136
3.7.4.13. Tasa de combustión (Textil Denim)	138
3.7.4.14. Validación del método mediante software especializado (Textil Denim)	140

3.7.4.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Denim)	141
3.7.4.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Denim).....	141
3.7.5. Ensayos de inflamabilidad – Textil Poliéster Troquelado	142
3.7.5.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Poliéster Troquelado).....	143
3.7.5.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado).....	146
3.7.5.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Poliéster Troquelado).....	149
3.7.5.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Poliéster Troquelado).....	151
3.7.5.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado).....	151
3.7.5.6. Tasa de combustión (Textil Poliéster Troquelado).....	154
3.7.5.7. Validación del método mediante software especializado (Textil Poliéster Troquelado).....	156
3.7.5.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Poliéster Troquelado).....	157
3.7.5.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Poliéster Troquelado).....	157
3.7.5.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Poliéster Troquelado).....	158
3.7.5.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado)	162
3.7.5.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Poliéster Troquelado).....	163
3.7.5.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Poliéster Troquelado).....	166

3.7.5.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado).....	166
3.7.5.13. Tasa de combustión (Textil Poliéster Troquelado).....	168
3.7.5.14. Validación del método mediana software especializado (Textil Poliéster Troquelado).....	170
3.7.5.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Poliéster Troquelado).....	172
3.7.5.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Poliéster Troquelado).....	172
3.7.6. Ensayos de inflamabilidad – Textil Algodón.....	173
3.7.6.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Algodón).....	174
3.7.6.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Algodón).....	177
3.7.6.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Algodón)...	180
3.7.6.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Algodón).....	182
3.7.6.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Algodón)...	184
3.7.6.6. Tasa de combustión (Textil Algodón).....	186
3.7.6.7. Validación del método mediana software especializado (Textil Algodón)	188
3.7.6.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Algodón)	189
3.7.6.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Algodón)	189
3.7.6.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Algodón)	190
3.7.6.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post-incandescencia y longitud de carbonización (Textil Algodón).....	194
3.7.6.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Algodón).	195

3.7.6.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Algodón)	198
3.7.6.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Algodón).	200
3.7.6.13. Tasa de combustión (Textil Algodón).....	202
3.7.6.14. Validación del método mediante software especializado (Textil Algodón)	204
3.7.6.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Algodón)	205
3.7.6.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Algodón)	205
3.8. Resumen de resultados	206
CAPÍTULO IV	208
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	208
4.1. Conclusiones	208
4.2. Recomendaciones.....	209
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	211
ANEXOS.....	218

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las fibras textiles	7
Figura 2. Clasificación de las fibras naturales	8
Figura 3. Fibras vegetales	9
Figura 4. Fibras animales	10
Figura 5. Fibras minerales.....	10
Figura 6. Clasificación de las fibras químicas	11
Figura 7. Primera fibra artificial – Rayón	12
Figura 8. Fibra sintética – Polipropileno.....	13
Figura 9. Triángulo de fuego.....	14
Figura 10. Punto de inflamabilidad y autoignición de sustancias y gases	18
Figura 11. Límites de inflamabilidad de una sustancia inflamable.....	19
Figura 12. Cámara de combustión horizontal	21
Figura 13. Cámara de combustión vertical	22
Figura 14. Fibra de Nomex	26
Figura 15. Textil Antifluidos	26
Figura 16. Textil Denim.....	27
Figura 17. Hilaturas de fibras de Poliéster.....	28
Figura 18. Textil Algodón.....	29
Figura 19. Flujograma - Elaboración de documentación.....	35
Figura 20. Flujograma - Ensayo de inflamabilidad vertical.....	37
Figura 21. Orden jerárquico del personal del laboratorio.....	41
Figura 22. Lista Maestra.....	48
Figura 23. Criterios de evaluación del sistema de medición recomendados por la AIAG [46].....	52

Figura 24. Criterios de evaluación de los componentes de la varianza recomendados por la AIAG [46].	52
Figura 25. Certificado de calibración cronómetro Sper Scientific.	57
Figura 26. Certificado de calibración de la regla Fénix.	57
Figura 27. Validación del método Textil Nomex - longitudinal.	67
Figura 28. Validación del método transversal.	77
Figura 29. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Antifluidos.	93
Figura 30. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Antifluidos.	108
Figura 31. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Denim.	125
Figura 32. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Denim.	141
Figura 33. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Poliéster Troquelado.	157
Figura 34. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Poliéster Troquelado.	172
Figura 35. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Algodón.	189
Figura 36. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Algodón.	205
Figura 37. Resumen de resultados.	207

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las fibras químicas	13
Tabla 2. Clasificación de los combustibles industriales.....	15
Tabla 3. Valores comunes de inflamabilidad de los gases	20
Tabla 4. Conductividad térmica de los textiles	23
Tabla 5. Índice de oxígeno limitante de ciertas fibras.....	24
Tabla 6. Comportamiento a la llama de algunas fibras textiles	24
Tabla 7. Listado de materiales.....	30
Tabla 8. Listado de equipos y herramientas.....	31
Tabla 9. Fuerza de desgarro	38
Tabla 10. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.....	53
Tabla 11. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex - longitudinal.	54
Tabla 12. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex- longitudinal.	55
Tabla 13. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.....	57
Tabla 14. Textil Nomex - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo A...58	
Tabla 15. Textil Nomex - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo B.	59
Tabla 16. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.	61
Tabla 17. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- incandescencia - grupo B	62
Tabla 18. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.....	64

Tabla 19. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.....	65
Tabla 20. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.....	68
Tabla 21. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex.....	69
Tabla 22. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex.....	70
Tabla 23. Textil Nomex - Corrección de las mediciones transversales – grupo A...	71
Tabla 24. Textil Nomex - Corrección de las mediciones transversales – grupo B...	72
Tabla 25. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.	73
Tabla 26. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.....	74
Tabla 27. Textil Nomex - Incertidumbre de la longitud de carbonización - grupo A.	75
Tabla 28. Textil Nomex - Incertidumbre de la longitud de carbonización - grupo B.	76
Tabla 29. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.....	79
Tabla 30. Datos del ensayo de Inflamabilidad vertical -Textil Antifluidos longitudinal.	80
Tabla 31. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Antifluidos longitudinal.	81
Tabla 32. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.....	82
Tabla 33. Textil Antifluidos- Corrección de las mediciones longitudinales - grupo A.	82
Tabla 34. Textil Antifluidos- Corrección de las mediciones longitudinales - grupo B.	83
Tabla 35. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.	84

Tabla 36. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.....	86
Tabla 37. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.	87
Tabla 38. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.	88
Tabla 39. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.....	90
Tabla 40. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – grupo B.....	91
Tabla 41. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Antifluidos.....	92
Tabla 42. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.....	94
Tabla 43. Datos del Ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Antifluidos – transversal.	95
Tabla 44. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Antifluidos - transversal.	96
Tabla 45. Textil Antifluidos - Corrección de las mediciones transversales - grupo A.	98
Tabla 46. Textil Antifluidos - Corrección de las mediciones transversales - grupo B.	99
Tabla 47. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.	100
Tabla 48. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.....	101
Tabla 49. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.	102
Tabla 50. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.	103
Tabla 51. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.....	105
Tabla 52. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – Grupo B.....	106
Tabla 53. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Antifluidos.....	107

Tabla 54. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.....	110
Tabla 55. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - longitudinal.	111
Tabla 56. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - longitudinal.	112
Tabla 57. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.....	113
Tabla 58. Textil Denim - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo A.	114
Tabla 59. Textil Denim - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo B.	115
Tabla 60. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.	116
Tabla 61. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – Grupo B.....	117
Tabla 62. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.	118
Tabla 63. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.....	119
Tabla 64. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.....	121
Tabla 65. Textil Denim - Tasa de combustión – grupo A.....	122
Tabla 66. Textil Denim - Tasa de combustión – grupo B.....	123
Tabla 67. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Denim.	124
Tabla 68. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.....	126
Tabla 69. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - transversal.	127
Tabla 70. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - transversal.	128
Tabla 71. Textil Denim - Corrección de las mediciones transversales – grupo A..	130
Tabla 72. Textil Denim - Corrección de las mediciones transversales – grupo B..	131

Tabla 73. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.	132
Tabla 74. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.....	133
Tabla 75. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – Grupo A.	134
Tabla 75. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – Grupo A (continuación).....	135
Tabla 76. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.....	135
Tabla 77. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.....	137
Tabla 78. Textil Denim - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.....	138
Tabla 79. Textil Denim - Cálculo de la tasa de combustión – grupo B.....	139
Tabla 80. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Denim.	140
Tabla 81. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.....	143
Tabla 82. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado - longitudinal.	144
Tabla 83. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Poliéster Troquelado - longitudinal.	145
Tabla 84. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.....	147
Tabla 85. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones longitudinales grupo A.....	147
Tabla 86. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones longitudinales grupo B.....	148
Tabla 87. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post–inflamación – grupo A.....	149

Tabla 88. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.....	150
Tabla 89. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.	151
Tabla 90. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la Incertidumbre de la Longitud de Carbonización – Grupo B.....	153
Tabla 91. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo A.	154
Tabla 92. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo B.	155
Tabla 93. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Poliéster Troquelado.	156
Tabla 94. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.....	158
Tabla 95. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado transversal.	159
Tabla 96. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado	161
Tabla 97. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones transversales grupo A.....	162
Tabla 98. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones transversales grupo B.....	163
Tabla 99. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post–inflamación – grupo A.....	164
Tabla 100. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post–inflamación – grupo B.....	165
Tabla 101. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.	166
Tabla 102. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.	167

Tabla 103. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo A.	169
Tabla 104. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo B.	170
Tabla 105. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Poliéster Troquelado.	171
Tabla 106. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal... 174	
Tabla 107. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Algodón -longitudinal.	175
Tabla 108. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Algodón - longitudinal.	176
Tabla 109. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.....	178
Tabla 110. Textil Algodón - Corrección de las mediciones longitudinales - grupo A.	178
Tabla 111. Textil Algodón - Corrección de las mediciones longitudinales - grupo B.	179
Tabla 112. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.	180
Tabla 113. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.....	181
Tabla 114. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.	182
Tabla 115. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.....	183
Tabla 116. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.	185
Tabla 117. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.....	186
Tabla 118. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – grupo B.....	187

Tabla 119. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Algodón.....	188
Tabla 120. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.....	190
Tabla 121. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Algodón.	191
Tabla 122. Datos del Ensayo de inflamabilidad vertical- Textil Algodón.....	193
Tabla 123. Textil Algodón - Corrección de las mediciones transversales – grupo A.	194
Tabla 124. Textil Algodón - Corrección de las mediciones transversales – Grupo B.	195
Tabla 125. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.	196
Tabla 126. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.....	197
Tabla 127. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.	198
Tabla 128. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.....	199
Tabla 129. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.	201
Tabla 130. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.....	202
Tabla 131. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – Grupo B.	203
Tabla 132. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Algodón.	204
Tabla 133. Resumen de resultados.....	206

RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto técnico se presenta la necesidad de la implementación de los requisitos técnicos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 debido a que el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical en Materiales Textiles requiere de la documentación establecida en esta norma para establecerse como un laboratorio más confiable.

Para la elaboración de los documentos, registros e instructivos, se realizó un estudio minucioso de la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 cumpliendo con los requisitos establecidos en esta. Además, se desarrolló los ensayos de inflamabilidad vertical de 5 materiales textiles (Nomex, Antifluidos, Denim, Poliéster Troquelado y Algodón) de acuerdo con los parámetros establecidos en la Norma ASTM D6413, donde se midió la resistencia a la llama vertical mediante la evaluación de los tiempos de post inflamación y post incandescencia. Uno de los objetivos principales del proyecto es la validación del método de medición, la cual se realizó mediante los datos obtenidos de los ensayos de inflamabilidad vertical y el uso de un software especializado, obteniendo un resultado inferior al 30 por ciento, considerado aceptable según los criterios establecidos por la AIAG.

Al finalizar el proyecto tanto la documentación como los resultados de validación del método, serán entregados al Laboratorio de Investigación Mecánica LIM – UTA, donde se utilizarán en beneficio de la Universidad Técnica de Ambato.

Palabras clave: Cámara de inflamabilidad, ASTM D6413, INEN 17025, Validación del método, Materiales textiles, Ensayos de inflamabilidad.

ABSTRACT

This technical project presents the need for the implementation of the technical requirements established in the Ecuadorian Technical Standard NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 because the Mechanical Research Laboratory for Vertical Flammability Tests on Textile Materials requires the documentation established in this standard to establish itself as a more reliable laboratory.

For the preparation of documents, records and instructions, a thorough study of the NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 Standard was carried out, complying with the requirements established therein. In addition, vertical flammability tests were developed for 5 textile materials (Nomex, Antifluids, Denim, Die-cut Polyester and Cotton) in accordance with the parameters established in the ASTM D6413 Standard, where vertical flame resistance was measured by evaluating post-flame and post-incandescence times. One of the main objectives of the project is the validation of the measurement method, which was carried out by means of the data obtained from the vertical flammability tests and the use of specialized software, obtaining a result of less than 30 percent, considered acceptable according to the criteria established by the AIAG.

At the end of the project, both the documentation and the results of the method validation will be delivered to the Mechanical Research Laboratory LIM - UTA, where they will be used for the benefit of the Technical University of Ambato.

Keywords: Flammability chamber, ASTM D6413, INEN 17025, Method validation, Textile materials, Flammability tests.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Los ensayos de inflamabilidad son métodos utilizados para medir la resistencia y el índice de combustión de los materiales expuestos al fuego con el fin de proporcionar seguridad al consumidor y evitar daño a espacios públicos y privados.

El sector industrial debe cumplir con ciertos requisitos establecidos por normas las cuales permitirán comercializar sus productos indicando que estos son seguros, la Norma establecida para ensayos de inflamabilidad vertical es la ASTM D6413 (ANEXO 1) la cual evalúa la resistencia a la llama en materiales textiles.

En el artículo “Instrumentation and objective evaluation of flammability of textiles by video image processing” publicado por la revista inglesa The Journal of The Textile Institute menciona que en la actualidad existen varios protocolos de pruebas estándar para medir la exposición a las llamas, la temperatura de ignición, el tiempo de llama, la longitud de carbonización, el área de carbonización, la pérdida de masa, etc. Sin embargo, medidas más precisas y objetivas, como la velocidad de propagación de la llama, la recuperación del área de la llama también es crucial para el cálculo objetivo y la visualización del índice de inflamabilidad del material [1].

Las pruebas más populares para materiales textiles son el índice de oxígeno limitante (LOI), la prueba de inflamabilidad vertical, la prueba horizontal, prueba a un ángulo de 45° y la prueba de llama abierta pequeña. El más reciente, el ASTM D6413- Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Llama de los Textiles (prueba vertical), determina la respuesta de los textiles a una fuente de ignición estándar, derivando valores de medición para el tiempo posterior a la llama, el tiempo posterior al resplandor y la longitud de carbonización [1].

En su estudio se desarrolló y evaluó un equipo de prueba de inflamabilidad simple, escalable y de múltiples muestras con la ayuda del procesamiento de imágenes de video. El procesamiento de imágenes de llamas extraídas del video para una mejor segmentación de un patrón de fuego genérico, se probaron varias transformaciones del espacio de color para obtener un procesamiento más simple mediante el cual

observaron que la transformación de los componentes de color de luminancia y crominancia mostraron los mejores resultados para extraer parámetros de llama que son congruentes con la inspección visual [1].

Según Carlos Silva de Oliveira de la Universidad Federal de Santa Catarina – Brasil en su trabajo de titulación “ACABAMENTO RETARDANTE DE CHAMAS EM TECIDO DE ALGODÃO A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE UM COMPÓSITO NANO-HÍBRIDO CAULINITA-TiO₂ VIA PROCESSO SOLVOTERMAL” alude que las estadísticas de incendios en todo el mundo son muy comunes y que entre el 70 y 90% de las muertes por incendio se produce en entornos domésticos, como consecuencia de la ignición y combustión de objetos inflamables, siendo los materiales textiles especialmente los de origen celulósico los objetos con mayor inflamabilidad encontrados en estos lugares. En consecuencia, el aumento de la demanda de textiles con propiedades ignífugas ha ido en aumento [2].

Su investigación trata de la síntesis de un compuesto nano híbrido de caolinita y Titania, que posteriormente se incorporó a las fibras de un tejido de algodón natural con el fin de comprobar su eficacia como aditivo retardante de llama, el rendimiento de dicho compuesto se determinó basándose en las normas de ensayo estándar como la Resistencia de los Textiles a la Combustión – Ensayo Vertical (ASTM – D 6413) [2].

En la provincia de Pichincha, Rosero Daniel en su trabajo de titulación “ELABORACIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DEL LABORATORIO DE METALES Y ARENAS PARA MOLDES DE FUNDICIÓN DE LA EMPRESA FUNDIRECICLAR S.A. SEGÚN LAS NORMAS NTE INEN ISO/IEC 17025:2018 E ISO/IEC 9001:2015” menciona que un laboratorio de medición es confiable siempre y cuando se respeten tres factores importantes, los cuales son: i) métodos validados, ii) instrumentos de medición adecuados y iii) personal competente, además dichos factores permiten comprobar el acatamiento de normas establecidas para laboratorios de medición [3].

En el sector industrial la elaboración de productos demanda el cumplimiento de acciones de medición y verificación de estándares para poder ser comercializados sin ningún inconveniente, para realizar dichas verificaciones los productos son sometidos

a rotundos ensayos los cuales determinaran el cumplimiento de las normas técnicas establecidas. Estos tipos de ensayos se realizan en laboratorios acreditados que cumplan con las especificaciones de la Norma Técnica NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración” [3].

1.1.1. Justificación

En la actualidad, la industria textil ecuatoriana produce varios tipos de productos de fibra como poliéster, acrílico, lana, algodón, nailon y seda, la cual ha creado miles de puestos de trabajo convirtiéndola en la segunda industria manufacturera más grande del país después de la industria de alimentos, bebidas y tabaco. De acuerdo con datos establecidos por la Asociación de Industriales Textiles del Ecuador (AITE), aproximadamente 25.000 personas trabajan directamente en la industria textil y más de 100.000 lo hacen de forma indirecta, además es el tercer sector manufacturero más grande, contribuyendo con más del 7% del Producto Interno Bruto (PIB) entre los fabricantes nacionales [4].

Además, en la provincia de Tungurahua se genera el 70% de la producción carrocería nacional, produciendo 24 millones de dólares al año y aproximadamente 1.400 puestos de trabajo, por lo que dichas industrias con el fin de disminuir costos implementan varios materiales para el acabado de interiores como es el caso de los textiles. Todas estas actividades industriales se realizan de acuerdo con las normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y procesos de calidad internacionales que garantizan la seguridad en el trabajo y en el transporte de pasajeros. Debido a esto se ha visto la necesidad de controlar y regular la producción de buses en nuestro país donde según datos de la Agencia de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial hay alrededor de 100 fábricas de carrocerías en el país y solo el 20% de ellas cumplen con los requerimientos que establece el INEN [5].

En el Ecuador en el año 2020 el Cuerpo de Bomberos de Guayaquil reportó 2997 incendios de los cuales el 3.57% fueron estructurales, en el año 2021 se reportaron 1011 emergencias de las cuales 20 fueron por incendios estructurales. El ECU 911 reportó las estadísticas de incendios en automóviles las cuales en el año 2020 fueron 775 vehículos inflamados, en el año 2021 fueron 926 y en el año 2022 fueron 85 incendios vehiculares [6], [7], [8].

La alta producción textil en Ecuador, así como su uso en la Industria Carrocera, ha generado la necesidad de la implementación de laboratorios de inflamabilidad de materiales textiles, con el fin de disminuir las probabilidades de incendios estructurales y carroceros. Lamentablemente, el país dispone de un número reducido de laboratorios de inflamabilidad certificados, entre los cuales se mencionan a Laboratorios SGS S.A. (Société Générale de Surveillance), Laboratorios LEMAT y Laboratorios VSA “Vehicle Safety Automotive”.

Debido a esto el presente proyecto tiene como finalidad la implementación de los requerimientos técnicos establecidos por la norma NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 (ANEXO 2) para pruebas de inflamabilidad en materiales textiles en conjunto con la norma internacional establecida por la American Society for Testing and Materials (ASTM D6413 por sus siglas en inglés) la cual es utilizada para medir y describir la reacción de los materiales textiles expuestos al fuego. Con la aplicación de dichas normas se realizará ensayos de inflamabilidad con el fin de obtener la documentación y la validación de los métodos aplicados contribuyendo con las necesidades de los laboratorios de la carrera de Mecánica.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Implementar los requisitos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO-IEC 17025-2018 para ensayos de inflamabilidad en materiales textiles de acuerdo con la norma ASTM D6413 para los laboratorios de la carrera de Mecánica.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar la documentación respectiva que determina la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 para ensayos de inflamabilidad de materiales textiles.
- Implementar los requerimientos técnicos existentes en la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 en los laboratorios de investigación.
- Realizar ensayos de inflamabilidad de materiales textiles en conformidad a la norma ASTM D6413.
- Analizar los resultados obtenidos para posteriormente realizar la verificación del método.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Norma

Una norma es un conjunto de reglas reconocidas internacionalmente, elaboradas con el fin de proporcionar un nivel de regulación y estandarización en el sector industrial relacionados con la elaboración de productos y prestación de servicios [9].

El uso de las normas en la actualidad se ha extendido y existe una gran acogida en la industria debido a que estas aumentan la efectividad en la producción y contribuyen en la reducción de costos cumpliendo con los lineamientos de calidad y seguridad [10].

1.3.1.1. Norma NTE INEN – ISO/IEC 17025

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN – ISO/IEC 17025-2018 “Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayos y Calibración” es un documento que lleva como propósito elevar la confiabilidad de los laboratorios de ensayos y calibración, en este documento se incluye los requisitos necesarios que permiten demostrar a los laboratorios que trabajan de manera adecuada y que están en la capacidad de emitir resultados válidos. Los laboratorios que acatan dicha norma trabajan en conjunto con los principios de la Norma ISO 9001 [11].

El uso de esta Norma facilita la colaboración entre laboratorios e instituciones nacionales e internacionales, contribuyendo en el intercambio de experiencias e información, así como la verificación de normas y procedimientos. La validación de los resultados entre países es mucho más fácil si los laboratorios son acreditados bajo dicha norma [11].

1.3.1.2. Norma ASTM D6413

La Norma ASTM D6413 “Método de Prueba Estándar para Resistencia a la Flama de la Industria Textil” (prueba vertical) es un documento donde se detalla el procedimiento correspondiente para la realización de ensayos de inflamabilidad en textiles, este tipo de ensayo se usa para determinar la resistencia de los textiles ante una llama vertical evaluando ciertas características como la luminiscencia residual [12].

Además, dicho documento es utilizado para describir y medir la reacción de los materiales expuestos a una fuente de ignición estándar en condiciones controladas en un laboratorio y no es utilizado para medir el riesgo de incendio de los materiales bajo condiciones reales [12].

1.3.2. Origen y fundamentación

La industria textil ha atravesado reducciones representativas en sus utilidades en los últimos años, sin embargo, aún se mantiene como uno de los principales sectores manufactureros y uno de los principales generadores de fuentes de trabajo en el país. La industria textil en el 2016 obtuvo ventas de USD 1.313 millones lo cual representa el 5% del sector manufacturero y un 8% en el Producto Interno Bruto (PIB) [13].

En el 2021 las ventas llegaron a USD 1.143 millones representando una recuperación del 26% comparado con el 2020, año en el que el país fue golpeado por la pandemia Covid-19. Las exportaciones de materiales textiles tuvieron un ascenso de USD 139 millones, equivalente a un 33% en comparación con las exportaciones del 2020 [14].

Debido a que la industria textil en el Ecuador es un sector estratégico en la economía se ve en la necesidad de contar con laboratorios acreditados para la realización de ensayos de inflamabilidad con el fin de otorgar los requerimientos necesarios para la comercialización de sus productos.

1.3.3. Materiales

En el presente proyecto el principal material a utilizar es el textil, uno de los materiales más antiguos utilizados por la humanidad.

1.3.3.1. Textiles

Los textiles son materiales compuestos principalmente por fibras (hebras o filamentos), las cuales son utilizadas para fabricar telas mediante tejido, hilatura tintura, etc. En la actualidad los textiles están compuestos de fibras naturales y materiales poliméricos como el nailon, poliéster, lana etc. [15],[16].

Para que una fibra sea utilizada como textil debe cumplir con ciertas características como finura, longitud, carácter, rizado color, brillo, elasticidad, resistencia, elongación en las fibras naturales, resistencia a la luz y calor entre otras [17]. Las fibras de origen

natural fueron las primeras en ser utilizadas, sin embargo, a pesar de existir más de 500 fibras naturales muy pocas son las adecuadas para uso en la industria textil ya que no todas se pueden hilar o aprovechar de manera adecuada para convertirlos en tejidos [18].

1.3.3.2. Características de las fibras textiles en la industria

Las fibras de alto rendimiento ofrecen propiedades muy específicas que son superiores a las convencionales, en algunos casos se optimizan mediante procesos especiales para mejorar sus características [18].

1.3.3.3. Clasificación de las fibras textiles

Las fibras textiles se clasifican en dos grandes grupos: Fibras naturales y Fibras químicas como se observa en la Fig. 1.

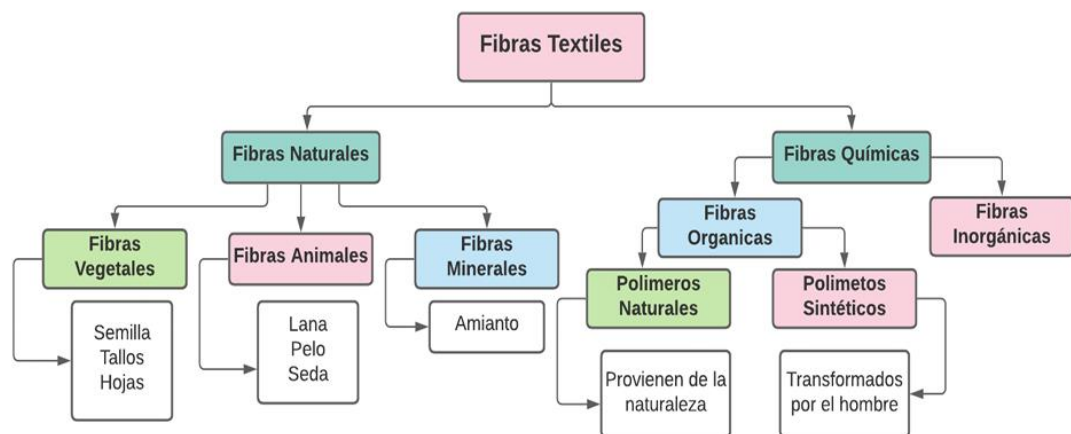


Figura 1. Clasificación de las fibras textiles [19].

1.3.3.4. Fibras naturales

Son aquellas fibras filamentosas de origen biológico, las cuales poseen características químicas, físicas y mecánicas que les otorgan cualidades en términos de apariencia, textura, longitud, resistencia y flexibilidad, lo que las vuelve aptas para diversas aplicaciones [19].

Este tipo de fibras se encuentran presentes en la naturaleza sin intervención humana, tienen su origen en fuentes vegetales, animales y minerales [19].

En la Fig. 2 se observa la clasificación de las fibras naturales.

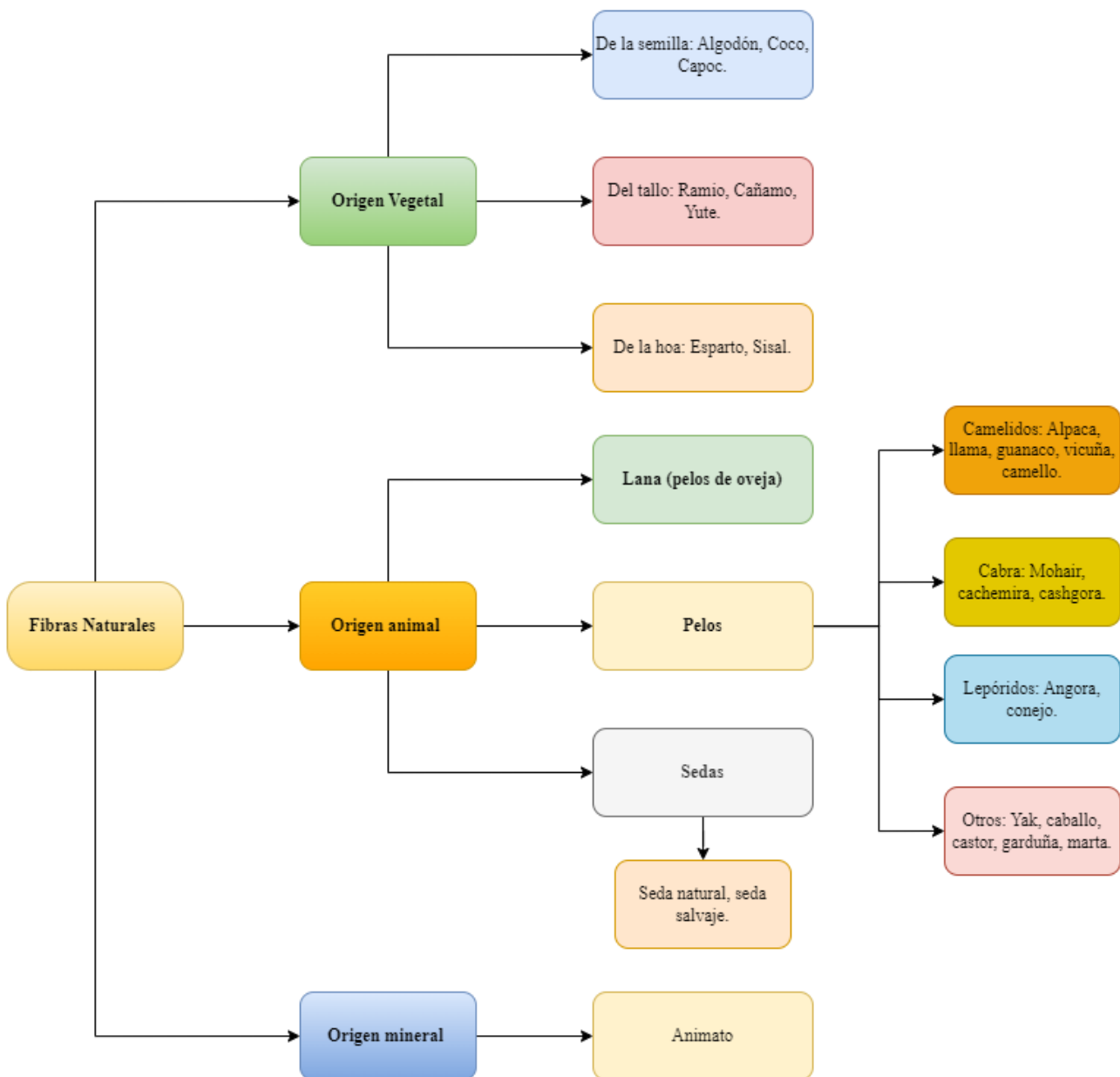


Figura 2. Clasificación de las fibras naturales [19].

1.3.3.4.1. Clasificación de las fibras naturales por su origen

1.3.3.4.2. Fibras vegetales

Este tipo de fibras son extraídas del reino vegetal, principalmente de sus semillas, tallos, hojas, frutos y raíces, Fig. 3, las cuales son procesadas para la obtención de textiles [20]. De acuerdo con el lugar de donde se obtiene la celulosa para la producción de textil se clasifican en:

De la semilla. - Algodón.

Del tallo. - Cábano, bambú, yute y lino.

De la hoja. - Esparto, sisal y mariguano, abacá.

Del fruto. - Fibra de coco.



Figura 3. Fibras vegetales [20].

1.3.3.4.2.1. Características generales de las fibras vegetales

Las principales características que poseen las fibras vegetales son:

- Óptima respirabilidad.
- Buena flexibilidad.
- Excelente absorción de humedad.
- Elevada resistencia mecánica.
- Suavidad.
- No producen alergias.
- Fibras ecológicas.
- Baja resistencia a la abrasión.
- Susceptibles a ser atacada por insectos o larvas.
- Posee muy poca flexibilidad en algunos casos.

1.3.3.4.3. Fibras animales

Las fibras animales provienen de folículos o glándulas de animales domésticos, son extraídas de manera natural y mediante procesos utilizadas a conveniencia para la producción textil, en la Fig. 4 se observa las fibras animales más comunes [20].

Folículos pilosos. – Lana, pelo de alpaca, pelo de conejo, pelo de cabra, etc.

Glándulas sedosas. – Seda, seda salvaje.



Figura 4. Fibras animales [20].

1.3.3.4.3.1. Características generales de las fibras animales

Las fibras animales poseen las siguientes características:

- Aislantes térmicas.
- Óptimo aislamiento acústico.
- Fibras ecológicas.
- Baja resistencia a la abrasión.
- Propensas al ataque de larvas e insectos.
- Sensibles a altas temperaturas.
- Formación de pilling.

1.3.3.4.4. Fibras minerales

Estas fibras se obtienen de minerales fibrosos como el acero, la plata, el oro, los cuales mediante procesos se obtienen hilos para la creación de textiles como se observa en la Fig. 5 [20].



Figura 5. Fibras minerales [20].

1.3.3.5. Fibras químicas

En este tipo de fibras interviene la mano del hombre, son creadas mediante polímeros, los cuales son transformados mediante procesos en fibras, reciben el nombre de Fibras Artificiales o Man Made Fibers por sus siglas en inglés (MMF) [19]. Las fibras químicas se clasifican en orgánicas e inorgánicas como se indica en la Fig. 6.

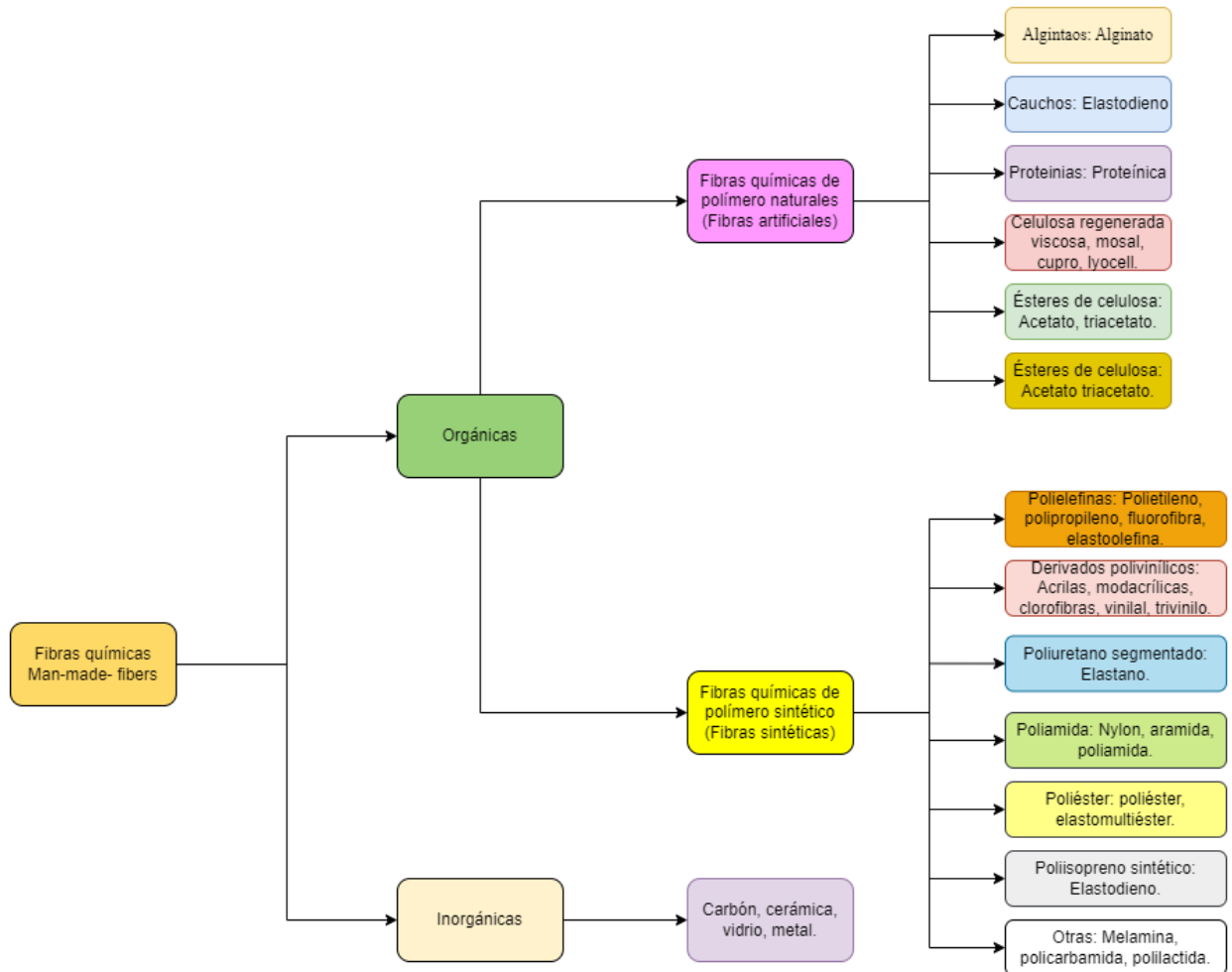


Figura 6. Clasificación de las fibras químicas [19].

Las fibras químicas orgánicas son polímeros naturales las cuales mediante el uso de agentes químicos son transformados y llevan el nombre de fibras artificiales, incluso existen polímeros creados a través de síntesis química llamadas fibras sintéticas. Las fibras inorgánicas son elaboradas de elementos inorgánicos como el boro y silicio e incluso carbono [19].

1.3.3.5.1. Fibras artificiales

Por muchos años el uso de la fibra natural fue la más común, sin embargo, esta poseía ciertas desventajas como el ataque de larvas y sensibilidad a altas temperaturas. El ser humano ante la necesidad de obtener fibras más resistentes, con propiedades a su conveniencia desarrolló hace poco más de un siglo la primera fibra artificial conocida como el rayón, Fig. 7 [20].



Figura 7. Primera fibra artificial – Rayón [20].

1.3.3.5.1.1. Características generales de las fibras artificiales

Las fibras artificiales poseen las siguientes características:

- Buena resistencia en seco.
- Excelente absorción.
- Facilidad de teñido.
- Vulnerabilidad al estar mojado.

1.3.3.5.2. Fibras sintéticas

Este tipo de fibras provienen de derivados del petróleo y son completamente químicas, con este tipo de fibras la industria textil ha logrado satisfacer la demanda establecida por nuevos métodos de tejeduría y por los consumidores [20].

En la Fig. 8 se observa la fibra sintética de polipropileno.



Figura 8. Fibra sintética – Polipropileno [20].

1.3.3.5.2.1. Clasificación de las fibras sintéticas

En la Tabla 1 se observa la clasificación de las fibras sintéticas.

Tabla 1. Clasificación de las fibras químicas [20].

Familia Química	Nombre Genérico	Denominaciones Comerciales
Poliiolefinas	<ul style="list-style-type: none"> • Polietileno • Polipropileno • Fluoruro fibra 	<ul style="list-style-type: none"> • Trofil • Meraklon • Teflón
Derivados polivinílicos	<ul style="list-style-type: none"> • Acrílica • Modacrílica 	<ul style="list-style-type: none"> • Orlón • Teklan
Poliuretano segmentado	<ul style="list-style-type: none"> • Elastano 	<ul style="list-style-type: none"> • Lycra
Poliamida	<ul style="list-style-type: none"> • Nailon • Aramida 	<ul style="list-style-type: none"> • Lilion • Nomex
Poliéster	<ul style="list-style-type: none"> • Poliéster 	<ul style="list-style-type: none"> • Dacrón
Poliisopropeno sintético	<ul style="list-style-type: none"> • Elastodieno 	<ul style="list-style-type: none"> • Látex

1.3.3.5.2.2. Características generales de las fibras sintéticas

Las fibras sintéticas poseen las siguientes características:

- Buena duración y resistencia a agentes externos.
- Fácil cuidado.
- Absorben y conservan la humedad del aire con facilidad.

1.3.4. Fuego

El fuego es un conjunto de partículas incandescentes producida por una reacción química de rápida oxidación, estas partículas expulsan energía calorífica y lumínica transformando la materia en otra [21].

1.3.4.1. Triángulo del fuego

Para que el fuego se produzca es necesario la reacción en cadena de 3 elementos fundamentales como el combustible, comburente y el calor, como se observa en la Fig. 9 [21].

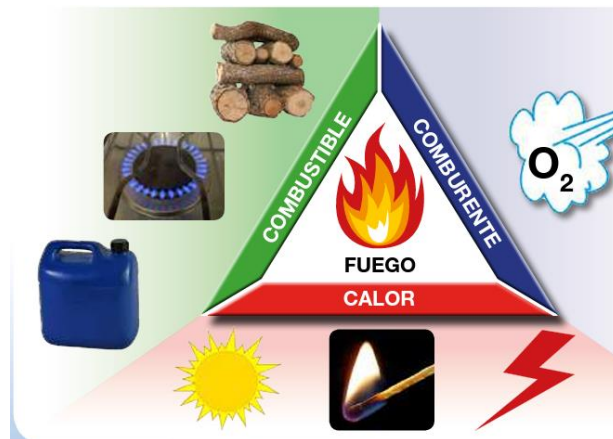


Figura 9. Triángulo de fuego [22].

1.3.4.2. Combustible

Es aquella sustancia que puede someterse a procesos de oxidación rápida y violenta, se las puede encontrar en estado sólido, líquido y gaseoso como se observa en la Tabla 2, incluso ciertos combustibles llegan a ser más inflables que otros, es decir, reaccionan con el calor y el oxígeno de una manera más o menos explosiva [21].

Los combustibles son utilizados en una amplia variedad de sectores y aplicaciones, como en la industria, el transporte, la generación de electricidad y para uso doméstico. Los tipos más comunes de combustibles incluyen el petróleo, el carbón, el gas natural,

la madera, el etanol y otros biocombustibles. Cada uno con diferentes propiedades y características que los hacen adecuados para diferentes usos y situaciones [21].

Tabla 2. Clasificación de los combustibles industriales [23].

CLASIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES INDUSTRIALES			
SÓLIDOS	NATURALES	Maderas y Residuos Vegetales	
		Carbón	Turbas
			Lignitos
			Hullas
	ARTIFICIALES	Antracita	
		Coques (Carbón y Petróleo)	
		Aglomerados y Briquetas	
LÍQUIDOS	ALCOHOLES	Naturales (Fermentación e Hidrólisis)	
		Artificiales	
	RESIDUALES	Lejías Negras	
	DERIVADOS DE PETRÓLEO	Gasóleos	
		Fuelóleos	
GASEOSOS	RESIDUALES	Fuel – Gas	
	GAS NATURAL	Diferentes Familias	
	GASES LICUADOS DE PETRÓLEO (GLP)	Propanos y Butanos	
	ARTIFICIALES O ELABORADOS	Gas de Alto Horno	
		Gas de Coque	
		Gas Pobre	
		Gas de Agua	
BIOGAS	Gas de Ciudad		

1.3.4.3. Comburente

Para que la combustión se produzca es necesario el oxígeno, elemento que actúa como comburente en la creación del fuego [21].

1.3.4.4. Calor

Es la cantidad mínima de energía requerida para que se produzca la combustión, esta energía activa la reacción entre el combustible y el comburente generando así el fuego [21].

1.3.5. Combustión

La combustión es un proceso de reacción química exotérmica que se produce entre un combustible, principalmente carbono e hidrógeno y un comburente. Este proceso desprende grandes cantidades de energía [24].

Existen varios tipos de combustión, entre las principales tenemos:

1.3.5.1. Combustión lenta

Este tipo de combustión se lleva a cabo en lugares poco ventilados y con deficiencia de comburente, su principal característica es la producción de gran cantidad de calor debido a la ausencia de luz emitida, en ocasiones también se da lugar en combustibles muy densos [25].

El fuego producido por este tipo de combustión suele ser muy peligroso, ya que al originarse en espacios de poca ventilación y al momento de abrir una puerta o ventana, el aire que ingresa incrementa el comburente provocando la expansión del fuego [25].

1.3.5.2. Combustión rápida

La combustión rápida es caracterizada por la emisión de una gran cantidad de luz, calor y fuego, incluso llegando a producir una explosión, se las conoce también como explosiones instantáneas [25].

1.3.5.2.1. Explosión por detonación

Esta se produce en el momento en el que la velocidad de llama propagada frontalmente llega a ser más rápida que la velocidad del sonido [25].

1.3.5.2.2. Explosión por deflagración

En este tipo de explosión la velocidad de la llama propagada frontalmente es menor a la velocidad del sonido [25].

1.3.5.3. Combustión completa

En la combustión completa no se produce humo ni gases de combustión, los combustibles se oxidan completamente produciendo dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NO) y dióxido de azufre (SO_2). La aparición de estos elementos depende de la cantidad de oxígeno, presión y temperatura presentes en la reacción [25].

1.3.5.4. Combustión incompleta

En este tipo de combustión las sustancias combustibles se mantienen como gases o humos de combustión, produciendo monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, e hidrógeno (H_2). Reciben el nombre de sustancias inquemadas [25].

Esta combustión es muy peligrosa incluso puede provocar la muerte del ser humano ya que al emitir gases tóxicos como el (CO) el cual no posee olor puede provocar la asfixia de la persona impidiendo el transporte de oxígeno [25].

1.3.5.5. Combustión con exceso de aire

Este tipo de combustión se origina al existir una gran cantidad de aire mucho mayor a la necesaria. Es normal que en esta combustión se dé la presencia de oxígeno en los gases producidos por la combustión [25].

1.3.5.6. Combustión con defecto de aire

En este tipo de combustión se origina al existir una menor cantidad de aire con respecto a la necesaria, en los gases y humos de esta combustión es normal la presencia de varias sustancias combustibles [25].

1.3.5.7. Combustión estequiométrica

Se produce con una cantidad de aire mínima y el proceso de combustión no se produce gases [25].

1.3.6. Llama

La llama es la expulsión de luz producida por la combustión de una sustancia con características inflamables [26].

1.3.7. Velocidad de propagación de llama

La velocidad de propagación de llama es el desplazamiento dimensional de la masa gaseosa en un proceso de combustión, está representado como la expansión del frente de llama con relación a la ignición. La velocidad de propagación se determina mediante ciertos factores como: la transferencia de calor entre el frente de llama y las zonas contiguas, las diferentes características de los materiales y el combustible y el tiempo de reacción entre el material y la llama [27], [28].

1.3.8. Temperatura o punto de ignición

El punto de ignición es la temperatura mínima en la que una sustancia inflamable desprende la cantidad suficiente de vapores, los cuales al interactuar con la llama pueden llegar a inflamarse, como se observa en la Fig. 10, estos gases deben alcanzar esta temperatura para poder iniciar con el proceso de combustión [29].

1.3.8.1. Temperatura o punto de auto- ignición

Es la temperatura mínima a la que una sustancia inflamable en contacto con el aire arde naturalmente sin la necesidad de la presencia de una llama, como se observa en la Fig. 10. Esta temperatura es más que suficiente para que la sustancia pueda alcanzar el proceso de combustión, es conocido también como punto de autoencendido [30].

Sustancia	Punto de inflamabilidad	Temperatura de autoignición
Etileno	-136 °C (-276.8 °F)	490 °C (914 °F)
Propano	-104 °C (-155.2 °F)	470 °C (878 °F)
Butano	-60 °C (-76 °F)	288 °C (550.4 °F)
Éter dietílico	-45 °C (-113 °F)	160 °C (320 °F)
Etanol	16.6 °C (61.9 °F)	363 °C (685.4 °F)
Gasolina	-43 °C (-45.4 °F)	280 °C (536 °F)
Diésel	62 °C (143.6 °F)	210 °C (410 °F)
Combustible de aviación	60 °C (140 °F)	210 °C (410 °F)
Queroseno	38 to 72 °C (100 to 162 °F)	220 °C (428 °F)

Figura 10. Punto de inflamabilidad y autoignición de sustancias y gases [31].

1.3.9. Inflamabilidad

Es la capacidad de las sustancias combustibles de entrar en proceso de combustión al ser expuestas a una fuente de calor, permitiendo alcanzar su punto de ignición. Según la Norma NTP 379: “Productos inflamables- variación de los parámetros de peligrosidad”, se define como sustancia líquida combustible a aquella sustancia que posee un punto de inflamación igual o mayor a 38 °C y líquido inflamable es aquel que posee un punto de inflamación menor a 38 °C, en la Fig. 10 se observa el punto de inflamabilidad de algunas sustancias [30], [31].

1.3.10. Índice de inflamabilidad

El índice de inflamabilidad es la resistencia de los materiales expuestos al fuego en un tiempo determinado, en este caso usaremos la Norma ASTM D6413 para medir la resistencia a la llama vertical de los textiles, ya que la Norma ISO 3795 mide la velocidad de incineración horizontal de materiales y equipos utilizados en el interior de vehículos de carretera [32].

1.3.11. Límites de inflamabilidad

Son las concentraciones mínimas y máximas de vapor o gas presente en la mezcla con el aire donde son inflamables. Se expresan como porcentaje en volumen de mezcla vapor de combustible- aire. También se denominan límites de explosividad debido a las condiciones de confinamiento, la cantidad de fuente de ignición y la intensidad de dicha fuente, ocasionando la variación en la velocidad de la combustión, lo cual origina la explosión [30].

1.3.12. Límite inferior de inflamabilidad

El límite inferior de inflamabilidad es la concentración mínima de gases inflamables, las cuales actúan en combinación con el oxígeno para formar la combustión. El L.I.I. varía de un gas a otro, pero por lo general estas se encuentran en un 5% en volumen, como se observa en la Fig. 11, si las concentraciones se encuentran por debajo de la mínima la mezcla no es explosiva [33], [34].

1.3.13. Límite superior de inflamabilidad

El límite superior de inflamabilidad es la concentración máxima de gases inflamables en aire, la cual se expresa en términos de porcentaje de volumen o de masa del combustible en la mezcla de aire, si dicha mezcla se encuentra por encima del punto máximo la mezcla no es explosiva, como se observa en la Fig. 11 [33].

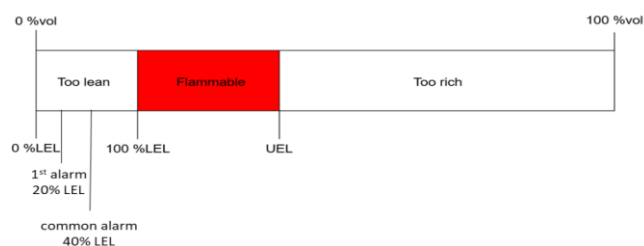


Figura 11. Límites de inflamabilidad de una sustancia inflamable [33].

1.3.14. Rango de inflamabilidad

El rango de inflamabilidad es la concentraciones de gases comprendidos entre el límite inferior y superior de inflamabilidad los cuales al entrar en contacto con el oxígeno se vuelven inflamables [34].

1.3.15. Punto de mezcla ideal

El punto de mezcla ideal contiene precisamente la concentración necesaria la cual al entrar en contacto con el oxígeno produce una reacción 100% efectiva, donde la intensidad de la ignición es más considerable. En este punto la combinación se quema perfectamente a diferencia de los puntos límites de inflamabilidad, donde la ignición se produce con dificultad, en la Tabla 3 se observa los valores comunes de algunos gases [34].

Tabla 3. Valores comunes de inflamabilidad de los gases [34].

Producto	% de combustible en una mezclar aire combustible		
	Límite inferior	Mezcla ideal	Límite superior
Acetato de etilo	2.2	4.0	11.4
Acetileno	2.0	7.4	80.0
Acetona	2.0	4.8	13.0
Amoniaco	15.0	21.0	27.0
Benceno	1.4	2.6	7.0
Butano	1.8	3.0	9.0
Etano	3.0	5.4	12.5
Etanol	3.0	6.0	19.0
Gasolina	0.7	1.6	7.0
Hidrogeno	4.0	28.8	76.0
Metano	5.0	9.0	15.0
Metanol	6.0	12.0	37.0
Monóxido de carbono	12.0	28.8	74.0
Pentano	1.4	2.4	7.8
Propano	2.0	4.0	10.0
Tolueno	1.2	2.2	7.0

1.3.16. Tipos de ensayos para determinar el índice de inflamabilidad de materiales

Para la determinación del índice de inflamabilidad de materiales se los realiza en dos tipos de cámaras de combustión, el banco de pruebas horizontal y el banco de pruebas vertical.

1.3.16.1. Banco de pruebas horizontal para la determinación del índice de inflamabilidad de los materiales.

Este tipo de ensayo se determina si existe la extinción de la llama y el tiempo en el que esta sucede, o a su vez el tiempo que tarda en recorrer una distancia específica [35].

El número de probetas varía de acuerdo con el material a ensayar, para un material isotrópico el número de probetas mínimo es de cinco, si el material no es isotrópico el número de probetas es de diez (cinco en cada dirección). Se conoce como material isotrópico al material que no cambia sus propiedades físicas en cualquiera de sus direcciones [35].

Las probetas se colocan en el porta muestras en posición horizontal, las cuales se ubicarán en la base apoyo del porta muestras donde se procede a la ejecución del ensayo y así determinar el índice de inflamabilidad del material [35].

Durante el ensayo la probeta es expuesta a la llama durante 15 segundos, teniendo en cuenta que para las réplicas la cámara de combustión deberá tener una temperatura inferior a 30°C para poder continuar con el siguiente ensayo [35]. En la Fig. 12 se observa la cámara de combustión horizontal.

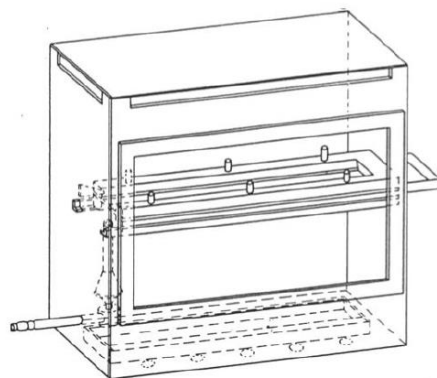


Figura 12. Cámara de combustión horizontal [35].

1.3.16.2. Banco de pruebas vertical para la determinación del índice de inflamabilidad de los materiales

En este tipo de ensayo se colocan las muestras en posición vertical expuestas a una llama para así determinar la velocidad de propagación de llama del material expuesto [35].

El equipo utilizado consta de las siguientes partes:

- Un portamuestras.
- Un quemador.
- Pinzas de sujeción
- Sistema de ventilación para la extracción de gases producidos por la combustión.
- Una válvula solenoide
- Una válvula reguladora de gas.
- Chispero.
- Termómetro y temporizador integrados en el sistema de control.

La cámara de combustión vertical se observa en la Fig. 13, se podrá utilizar gas propano comercial o butano comercial para la realización del ensayo [35].

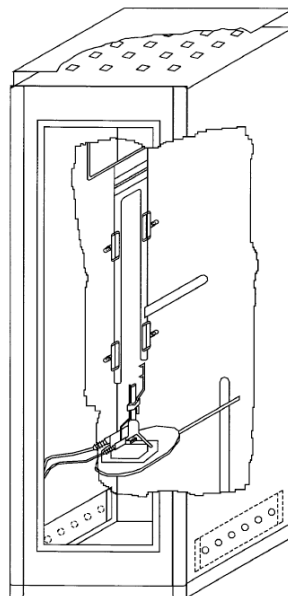


Figura 13. Cámara de combustión vertical [12].

1.3.17. Conductividad térmica en textiles

Se conoce como conductividad térmica a la capacidad de transmitir calor, expresados en Watt por Kelvin por metro $W/(K*m)$. La lana y las fibras acrílicas son pésimas conductoras del calor, estas conservan el calor corporal por lo que son utilizadas como abrigos para soportar climas fríos, la Tabla 4 determina la conductividad térmica de ciertos textiles [36].

Tabla 4. Conductividad térmica de los textiles [36].

Fibra	W/(K*m)
Algodón	0.07
Lana	0.055
Seda	0.05
Poliamida	0.25
Poliéster	0.14
Polietileno	0.12
Polipropileno	0.34
Cloruro de polivinilo	0.16

1.3.18. Combustión en fibras textiles

El índice de oxígeno limitante por sus siglas (IOL) es el factor que influye en la combustión de una fibra textil, este nos indica cual es el valor mínimo de oxígeno necesario para que la fibra pueda entrar en combustión [36].

La cantidad de oxígeno presente en el aire es del 21% por lo que cualquier fibra con un IOL menor a esta cantidad podrá arder sin ningún problema, mientras que las fibras con un IOL mayor tenderán a no entrar en el proceso de combustión, en la Tabla 5 se observa que el poliéster, la poliamida y las fibras celulósicas son muy inflamables ya que poseen un IOL menor al 21% llegando a quemarse con facilidad a una temperatura de 350°C, sin embargo, la lana es la fibra menos inflamable por su alto IOL [36].

Tabla 5. Índice de oxígeno limitante de ciertas fibras [36].

Fibra	IOL (%)
Lana	25
Algodón	18
Rayón viscosa	20
Rayón acetato	18
Triacetato	18
Cloro fibra	48
Acrílico	18 – 20
Modacrílico	22 – 28
Novoloid	36
Poliéster	20
Poliamida	20

En la Tabla 6 se determina el comportamiento de algunas fibras textiles expuestas a la llama.

Tabla 6. Comportamiento a la llama de algunas fibras textiles [36].

Fibra	Cerca	Expuesta	Al sacar	Residuo	Olor
Algodón, lino, viscosa	No funde, ni encoge	Arde	Continúa ardiendo	Pocas cenizas con bordes lisos	Papel quemado
Lana, seda	Funde y se risa	Arde lentamente y chispea	Tiende a apagarse sola	Residuo negro, hinchado y pulverizado	Pelo quemado
Acetato	Funde	Arde y se derrite	Continúa ardiendo y se funde	Deja gota negra, dura y frágil	No percibe
Poliéster	Funde y encoge	Arde lentamente, derrite y da humo	Se apaga sola	Deja gota negra, dura y frágil	Aromático

Tabla 6. Comportamiento a la llama de algunas fibras textiles (continuación) [36].

Poliamida	Funde y encoge	Arde lentamente, derrite	Se apaga sola	No queda	Apio
Poliuretano	Funde y encoge	Arde y se derrite	Continúa ardiendo y se derrite	Deja ceniza blanda y negra	No se percibe
Acrílica	Funde	Arde y se derrite	Continúa ardiendo y se derrite	Deja gota negra, dura y frágil	No se percibe
Cloro fibra	Funde y encoge	Arde lentamente y se derrite	Se apaga sola	Deja gota dura y frágil	No se percibe
Poliolefina	Funde y encoge	Arde y se derrite	Sigue ardiendo y se apaga sola	Deja gota negra	No se percibe

1.3.19. Factores que influyen en la inflamabilidad de los textiles

A continuación, se presentan los factores que influyen la inflamabilidad de los textiles:

- La fibra al poseer un mayor punto de ignición su índice de inflamabilidad será menor.
- Mayor densidad del tejido, menor inflamabilidad.
- Alto coeficiente de torsión del hilo, baja inflamabilidad en el tejido.
- El uso de agentes químicos, los cuales no ingresan en la fibra y la cubren formando una película no inflamable.
- El uso de agentes químicos los cuales ingresan a la fibra [36].

1.3.20. Textiles utilizados en ensayos de inflamabilidad vertical

Para este proyecto se ha tomado en cuenta la importancia de ciertos materiales textiles utilizados en el diario vivir con el fin de precautelar la seguridad de los consumidores.

1.3.20.1. Textil Nomex - Ignífugo

La principal característica de un textil ignífugo es su alta resistencia al fuego y al calor, tienen una alta resistencia a inflamarse y en caso de hacerlo la llama no se propaga debido a que su combustión es muy lenta y esta se extingue una vez alejado de la llama [37].

Además este tipo de telas brindan una protección térmica en los consumidores, evitando quemaduras o dolor en la piel, debido a que el textil al descomponerse no se funde ni gotea si no que carboniza [37].

Nomex. - Es un material utilizado como aislante de transformadores, garantizando los servicios esenciales de hospitales, motores generadores de energía o equipos que funcionan en medios ambientales agresivos, en la Fig. 14 se observa el aspecto de una fibra de Nomex [38].

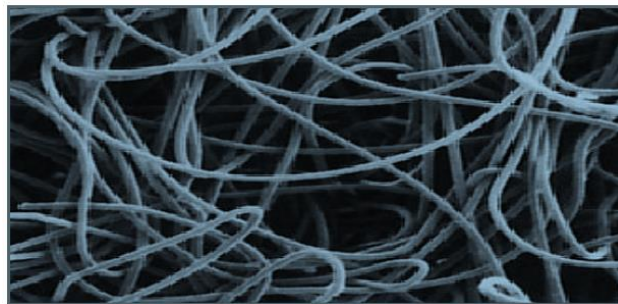


Figura 14. Fibra de Nomex [38].

Este tipo de textil es muy utilizado en los trajes antiincendios del cuerpo de bomberos ya que soporta temperaturas de exposición al fuego de 240°C , sin embargo, es capaz de soportar por cortos periodos temperaturas que sobrepasan los 300 – 310°C , las temperaturas inferiores a 200°C no afectan en lo mínimo a este tipo de fibras [38].

1.3.20.2. Textil Antifluidos

Este tipo de textil es una fibra sintética 65% poliéster y 35% algodón Fig. 15, elaborada a partir de productos derivados del petróleo, la cual posee grandes ventajas debido a su composición química llegando a ser uno de los materiales más utilizados en la elaboración de uniformes, especialmente médicos [39].

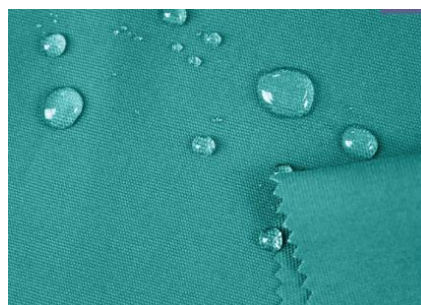


Figura 15. Textil Antifluidos [39].

1.3.20.2.1. Ventajas de la tela Antifluidos

Las ventajas del textil antifluidos son las siguientes:

- Repele fluidos.
- Resistente al cloro.
- Sencillo de lavar
- Mantiene su forma original.
- Ligera y cómoda.
- Excelente durabilidad y resistente al desgaste [39].

1.3.20.3. Textil Denim (Jeans)

El textil Denim también conocido como mezclilla, tejido vaquero, dril o jean, Fig. 16, es un tejido muy resistente formado por fibras de algodón y caracterizado por poseer hilos de color blanco en la trama e hilos de color azul en la urdiembre, posee líneas de sarga diagonales más visibles por el derecho que por el revés del textil [40].

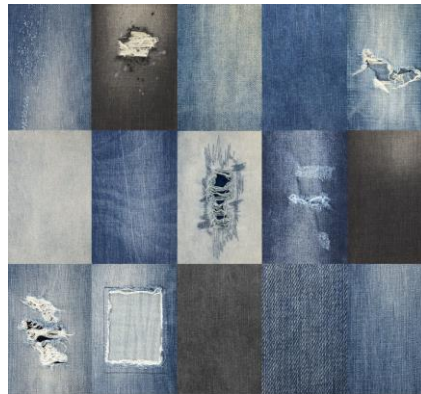


Figura 16. Textil Denim [40].

Este tipo de textil es muy resistente, usado en la antigüedad en la fabricación de velas de barcos, hace algunos años su uso era específicamente para ropa de trabajo de mineros, agricultores y vaqueros, posee una contextura robusta y pesada y es propensa a desteñirse con el uso y actualmente es hilada con algodón y teñida con tintes a base de agua [40].

1.3.20.4. Textil Poliéster

El poliéster es un polímero termoplástico constituido principalmente por tereftalato de dimetilo y etilenglicol, utilizado para la fabricación de textiles, (Fig. 17) o para piezas

de uso industrial. Este tipo de tela es muy ligera y con la facilidad de mezclarse con otros tipos de hilos como el algodón y rayón, produciendo textiles con mejores propiedades de resistencia y calidad [41].



Figura 17. Hilaturas de fibras de Poliéster [41].

Las principales ventajas de este textil son:

- Bajos costos de producción.
- Muy ligero.
- Resistente a la humedad.
- Resistente al uso de químicos.
- Fácil combinación con hilos de diferente material [41].

Algunas de las desventajas del textil poliéster son:

- Poca ventilación.
- No absorbe el sudor.
- Susceptible a la aparición de estática.
- Contaminación para el medio ambiente [41].

1.3.20.5. Textil Algodón

El algodón gracias a sus propiedades es una de las fibras naturales más populares a nivel mundial, especialmente como materia prima para la industria textil, Fig. 18, es cultivado en grandes cantidades en más de 100 países [42].



Figura 18. Textil Algodón [42].

Sus principales características son:

Transpirabilidad: Permiten una adecuada ventilación dejando que el aire corra libremente, son absorbentes del sudor.

Absorbencia: Son capaces de absorber 27 veces su peso en agua.

Tejido hipoalergénico: Este tipo de tejido evita la irritación en la piel, infecciones y alergias.

Suavidad: Esta característica permite la protección de la piel, siendo un textil muy confortable de uso diario.

Durabilidad: Resistentes a altas temperaturas [43].

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

A continuación, en la Tabla 7 y 8 se detallan los materiales y equipos utilizados para la ejecución de dicho proyecto.






Tabla 7. Listado de materiales.

Materiales		
Nombre	Descripción	Gráfico
Tela Ignífuga	Textil resistente al fuego.	
Tela Antifluidos	Textil repelente a los fluidos.	
Tela Denim	Textil conocido también como jean, muy resistente.	
Tela Poliéster	Muy ligera con excelentes propiedades de combinación con otros hilos.	
Tela Algodón	Fibra natural, la más popular a nivel mundial.	

Tabla 8. Listado de equipos y herramientas.

Equipos y herramientas		
Nombre	Descripción	Gráfico
Cámara de inflamabilidad vertical según Norma ASTM D6413.	Cámara de combustión de acero inoxidable utilizado para la ejecución de ensayos de inflamabilidad.	
Computador.	Equipo utilizado para el registro y análisis de datos obtenidos en los diferentes ensayos de inflamabilidad.	
Cronómetro digital.	Dispositivo utilizado para medir el tiempo de ignición.	
Pinzas de sujeción.	Instrumento empleado para lograr una sujeción fija del soporte de la muestra.	
Válvula reguladora de flujo de gas.	Permite establecer una adecuada cantidad de gas con el fin de obtener una llama adecuada para el ensayo de inflamabilidad.	

Tabla 8. Listado de equipos y herramientas (continuación).

Regla metálica	Empleado para determinar la longitud de carbonización de la muestra.	
Termómetro	Permite determinar la temperatura adecuada en la cámara de inflamabilidad, se encuentra integrado en sistema de control de la cámara de combustión.	
Temporizador	Permite establecer el tiempo de encendido y apagado automático en la cámara de combustión, se encuentra integrado en el sistema de control de la cámara de combustión.	
Tanque de gas butano	Gas licuado, utilizado para ensayos de inflamabilidad.	
Equipo de seguridad	Utilizado para proteger la integridad del personal de laboratorio.	

2.1.1. Recursos humanos

Para el presente proyecto técnico es necesario la participación de un docente tutor como guía para el estudiante durante la elaboración de este.

- **Docente tutor:** Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano.
- **Autor:** Fernando Efraín Yunda Buñay.

2.1.2. Recursos institucionales

- Laboratorio de Investigación Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato (LIM-UTA).

2.1.3. Material bibliográfico

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN – ISO/IEC 17025-2018 “Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayos y Calibración”.
- Norma ASTM D6413 “Método de Prueba Estándar para Resistencia a la Flama de la Industria Textil” (prueba vertical).
- Norma ASTM D1776 “Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles”.

2.2. Métodos

2.2.1. Investigación bibliográfica

Debido a la amplia información bibliográfica existente es importante seleccionar datos verídicos de fuentes confiables como artículos científicos, libros, repositorios y normas técnicas las cuales brindan el apoyo necesario para la ejecución de dicho proyecto.

Por lo tanto, basado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN-ISO/IEC 17025-2018 se tomarán los requisitos necesarios que permiten demostrar que los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato son confiables y generan resultados efectivos. Además, mediante la Norma ASTM D6413 se obtiene el procedimiento adecuado y los requisitos necesarios para realizar los ensayos de inflamabilidad correspondientes.

2.2.2. De campo

Los ensayos de inflamabilidad se realizarán en los laboratorios de la Carrera de Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

2.2.3. Aplicada

Debido a que los resultados de los índices de inflamabilidad obtenidos permitirán el uso adecuado de los textiles, disminuyendo la probabilidad de incendios.

2.2.4. Análisis y síntesis

Los laboratorios de ensayo y calibración deberán cumplir con los requisitos establecidos por la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025 – 2018 para ser catalogado como un laboratorio confiable, lo cual permitirá establecer un procedimiento cero, sirviendo este como guía para la elaboración de la documentación correspondiente para los laboratorios de ensayos de inflamabilidad, además es necesario la elaboración de manuales, instructivos, trazabilidad de medición e informe de resultados.

Una vez cumplidos los requisitos establecidos por la norma antes mencionada los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato serán aptos para la realización de ensayos en la cámara de inflamabilidad vertical.

2.2.5. Experimental

La investigación en dicho proyecto será de manera experimental, ya que los resultados obtenidos en los ensayos realizados en la cámara de inflamabilidad vertical serán útiles para la determinación de los índices de inflamabilidad a través un análisis estadístico.

2.3. Metodología de proceso

2.3.1. Procedimiento para la creación del sistema de gestión

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN-ISO/IEC 17025-2018 contiene los requisitos necesarios para la elaboración de la documentación respectiva del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical, en la en la Fig. 19 se observa el proceso para la creación de los documentos, registros e instructivos del sistema de gestión.

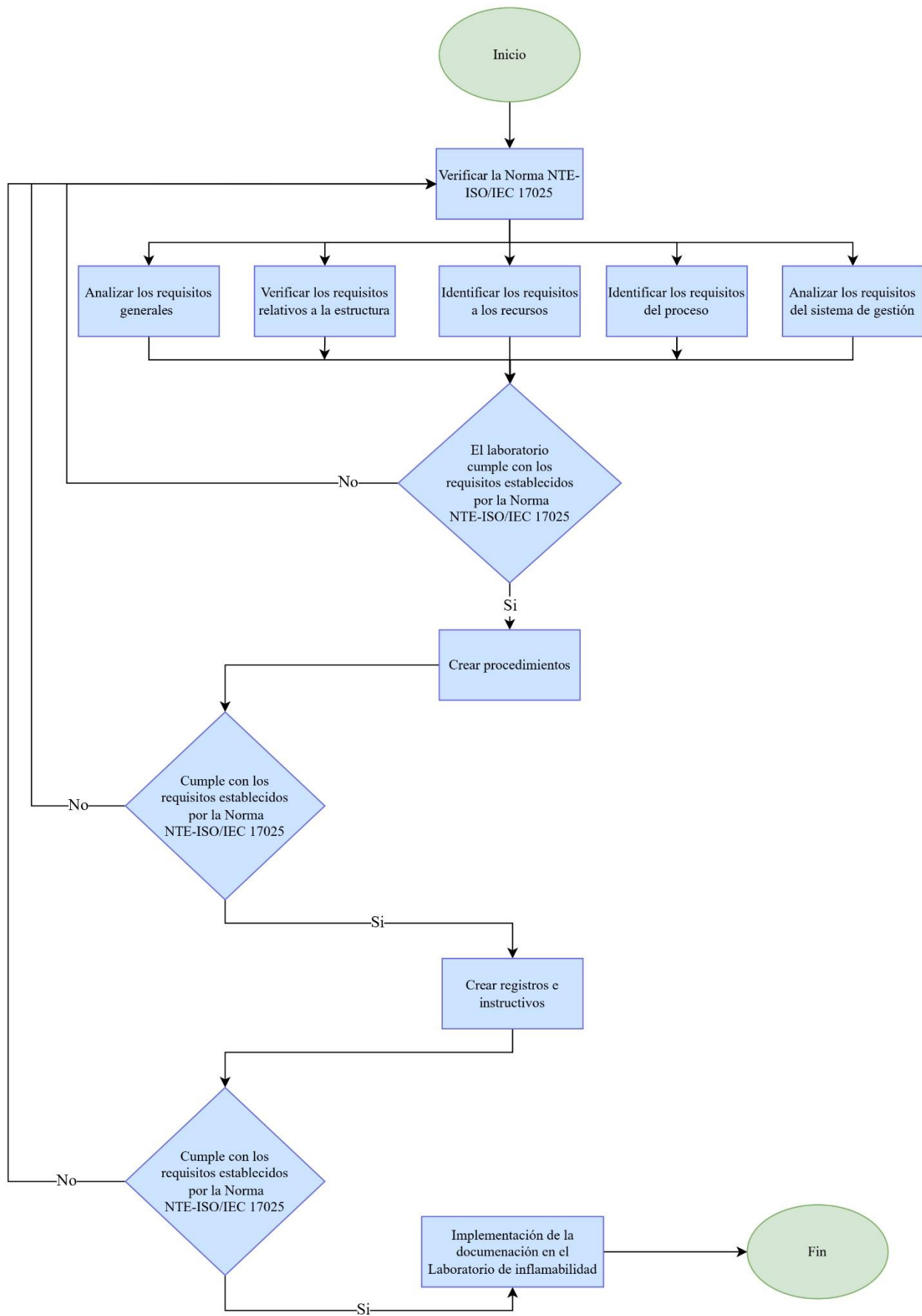


Figura 19. Flujograma - Elaboración de documentación.

2.3.2. Procedimiento para el desarrollo de ensayos de inflamabilidad

A continuación, se detalla el procedimiento para ensayos de inflamabilidad en materiales textiles establecido en la Norma ASTM D6413.

- Cortar cinco muestras longitudinales y cinco muestras transversales de 76 mm de ancho por 300 mm de largo por cada material a ensayar.
- Verificar que las muestras no tengan arrugas, pliegues o se manchen de aceite, agua, grasa, etc., al ser manipuladas.
- Acondicionar las muestras según Norma ASTM D6413.
- Acondicionar el equipo, ajustar la presión del gas a $17,2 \pm 1,7$ kPa ($2,5 \pm 0,25$ lbf/in²) y encender la llama del piloto.
- Ajustar la llama del quemador con la válvula de aguja en la base del quemador para lograr una altura de la llama de 38 mm.
- Colocar cada una de las muestras dentro de la cámara de inflamabilidad dentro de 4 min de retirada de la zona de acondicionamiento.
- Colocar y retener la probeta entre las dos mitades del soporte.
- Insertar el soporte con la muestra en el armario, centrado 19 mm sobre el quemador, nivelado con la púa de metal inferior.
- Iniciar el temporizador de incidencia de llama en 12 seg, observar y registrar todos los acontecimientos.
- Registrar el tiempo que la muestra sigue en llama después de permanecer a una exposición de 12 seg.
- Registrar el tiempo que la muestra sigue resplandeciendo después de permanecer a una exposición de 12 seg.
- Retirar el soporte de la muestra y encender la campana de ventilación, dejar enfriar la probeta.
- Medir la longitud de carbonización [12].

En la Fig. 20 se observa el procedimiento general para el desarrollo del ensayo de inflamabilidad vertical.

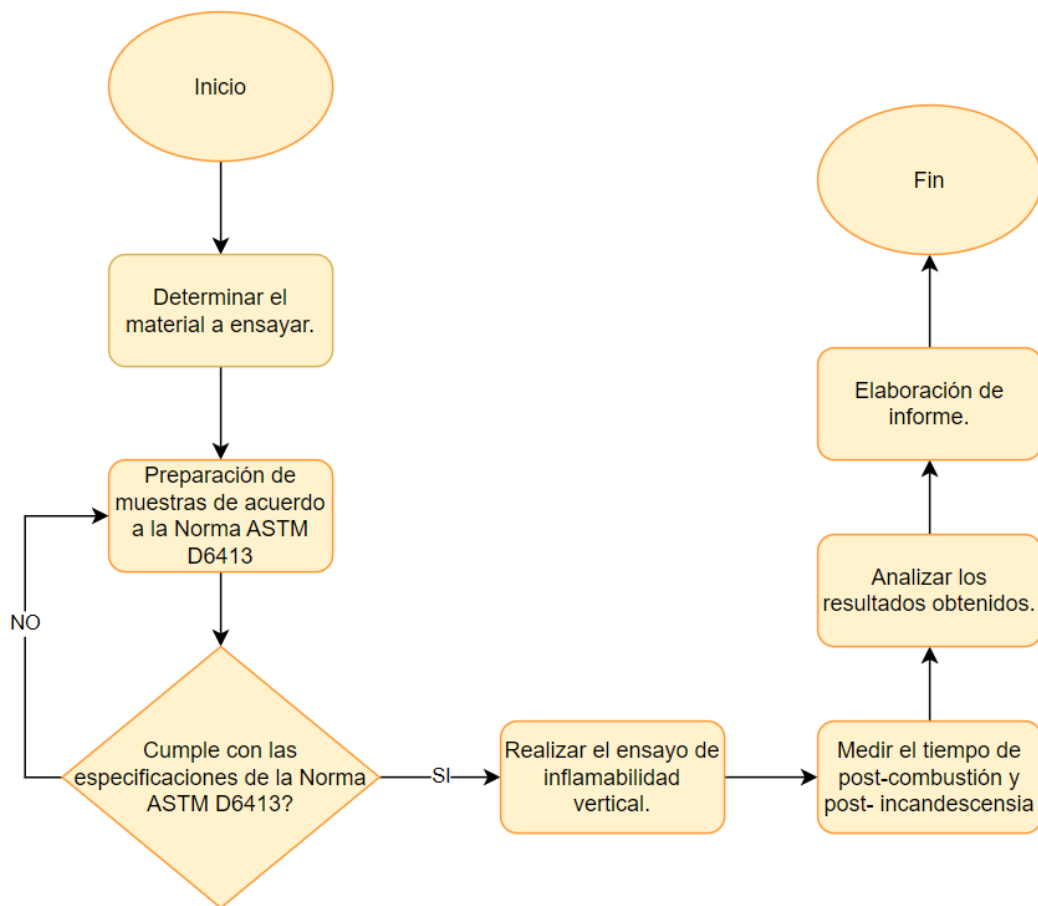


Figura 20. Flujograma - Ensayo de inflamabilidad vertical.

2.3.3. Longitud de carbonización

Tras ser sometida la muestra a un tiempo de llama determinado, se evalúa la longitud carbonizada con relación a una observación visual del dañado ocasionado sobre la muestra. La medición de la longitud carbonizada varía de acuerdo con el método usado, por ejemplo, según el método NFPA 701, 2015, para medir la longitud de carbonización se usa la longitud de la muestra original menos la longitud de la muestra intacta. En cambio, en la Norma ASTM D6413 se mide la longitud de la parte afectada por la llama incluyendo una fuerza de desgarro [34].

La fuerza de desgarro se encuentra en función de la masa del material y varía de acuerdo con el método o norma utilizado como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9. Fuerza de desgarro [34].

CAN/ULC S109	Masa material (g/m ²)	68-200	200-510	510-780	>780
	Masa aplicada (g)	110	230	430	450
ASTM D6413	Masa material (g/m ²)	68-203	203-508	508-780	>780
	Masa aplicada (g)	100	200	300	475
CAN/CGSB 4.2 No 27.10	Masa material (g/m ²)	Hasta 100	100-200	200-330	>300
	Masa aplicada (g)	57	113	227	340
IMO A.563 (14) (1985)	Masa material (g/m ²)	<200	200-600	>600	
	Masa aplicada (g)	100	200	400	

2.3.4. Tiempo de llama posterior y duración del resplandor residual

En una prueba de inflamabilidad la llama posterior como el resplandor residual son de suma importancia, ya que estas características permiten determinar la capacidad que posee el textil para impedir la propagación de la llama hacia otros materiales. Estos factores se mide en segundos una vez que la muestra haya sido retirada del fuego [34].

2.3.5. Cálculo de la tasa de combustión

Uno de los cálculos necesarios es la obtención de la tasa de combustión, esto permite identificar que tan riesgoso es un material [44].

Mediante la ecuación 1 se puede determinar la tasa de combustión.

$$B = 60 \times \left(\frac{D}{T} \right) \quad (1)$$

Donde:

B = Tasa de combustión (mm/min).

D = Distancia quemada (mm).

T = Tiempo de combustión de la distancia D (s).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción de la empresa

El laboratorio de Investigación Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato (LIM - UTA), es una organización establecida en el 2019 conformada por expertos técnicos de la Universidad Técnica de Ambato [45].

Para el año 2021 obtuvo la designación del Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MIPRO) para la realización de ensayos de inflamabilidad de materiales interiores utilizados en vehículos. Este tipo de ensayos permite determinar la velocidad de ignición horizontal de los materiales utilizados en buses, tractores, etc., después de someterlos a un corto tiempo de llama [45].

3.1.1. Misión y visión

✓ Misión

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical de la Universidad Técnica de Ambato ofrece el servicio de ensayos de inflamabilidad vertical de manera confiable y oportuna. Con personal capaz y competente con gran capacidad de realizar las actividades cumpliendo con las necesidades del cliente [45].

✓ Visión

Para el año 2025 el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical de la Universidad Técnica de Ambato busca fortalecerse a través del servicio de ensayos de inflamabilidad con un referente Nacional en realizar ensayos de alta calidad utilizando un modelo de gestión que garantice la confiabilidad de los resultados emitidos al cliente [45].

3.2. Análisis y discusión de los resultados

Los requisitos establecidos según la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 para la implementación del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles de la Carrera de mecánica son:

- ✓ Requisitos relativos a los recursos
- ✓ Requisitos del proceso

✓ Requisitos del sistema de gestión

La documentación para el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles se ha creado siguiendo los parámetros de la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018, los cuales se encuentran alojados en los archivos del laboratorio y por motivo de confidencialidad no pueden ser publicados.

En los ANEXOS 4 y 5 se encuentra el listado general de los procedimientos, registros e instructivos desarrollados para el Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA.

A continuación, se describen los documentos requeridos por la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018.

3.3. Requisitos relativos a los recursos

3.3.1. Generalidades

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles se encuentra localizado en la Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato en los predios de la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi Chico.

En dichos laboratorios se realizan los diferentes ensayos de inflamabilidad vertical para materiales textiles.

3.3.2. Personal

La Universidad Técnica de Ambato junto con la Dirección del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical LIM-UTA con el fin de asegurar una adecuada manipulación de los equipos del laboratorio (cámara de inflamabilidad vertical) y brindar un trabajo eficiente cuenta con personas calificadas y con una amplia experiencia en el campo experimental y el manejo de las normas nacionales e internacionales como lo es la Norma ASTM D6413, comprometidos a seguir los procedimientos establecidos con el fin de brindar un servicio de calidad.

En la Fig. 21 se observa el orden jerárquico del personal encargado del Laboratorio de Investigación Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato

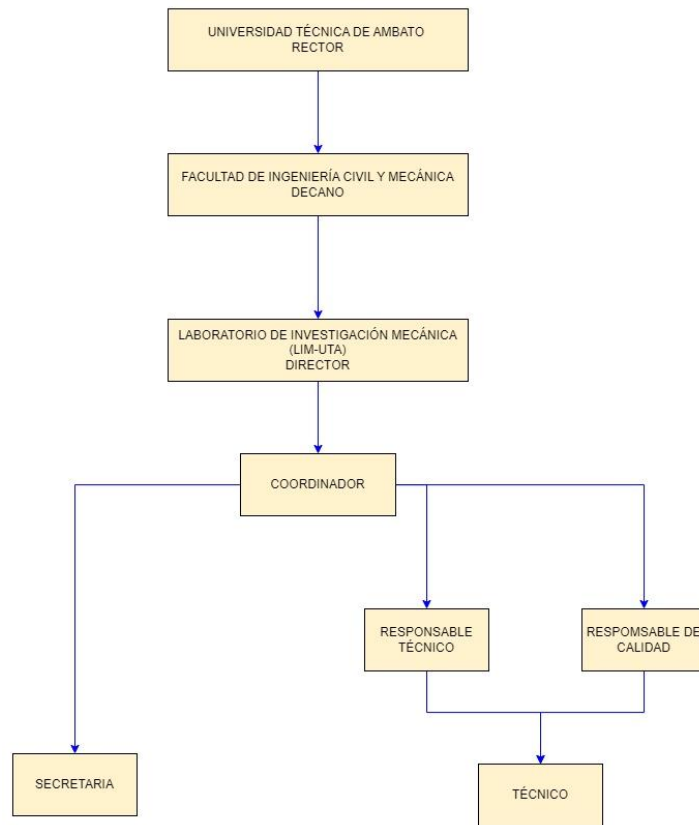


Figura 21. Orden jerárquico del personal del laboratorio.

En el ANEXO 4 se puede observar el listado general de los procedimientos e instructivos desarrollados para Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA, donde se encuentran los perfiles profesionales del personal, las funciones y responsabilidades del personal y los procedimientos para seleccionar, formar, supervisar y autorizar al personal.

3.3.3. Instalaciones y condiciones ambientales

Los laboratorios de inflamabilidad deben contar con las instalaciones y condiciones ambientales adecuadas, las cuales deben cumplir con los requerimientos que la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 establece, el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical se encuentra en las instalaciones del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Mediante el uso del procedimiento de Instalaciones y condiciones ambientales se garantiza un lugar específico y adecuado para la realización de ensayos de inflamabilidad, el cual cuenta con campanas extractoras de humo brindando una

ventilación óptima, teniendo en cuenta la iluminación y limpieza pertinente. En el documento “Procedimiento de acceso, reglas de autorización y uso del laboratorio” se planteó el procedimiento para el ingreso del personal al laboratorio, entre estas se mencionan las reglas de autorización, el uso correcto de los equipos y herramientas y las sanciones en caso de incumplir con dichos procedimientos.

3.3.4. Equipamiento

Los equipos utilizados para ensayos de inflamabilidad vertical en textiles deben ser los establecidos por la Norma ASTM D6413 y cumplir con ciertos parámetros como certificaciones y fichas técnicas para el uso y control adecuado de los mismos. En el documento “Fichas Técnicas” se detallan las fichas técnicas de los equipos e instrumentos necesarios para el laboratorio de inflamabilidad vertical.

Los equipos deben estar perfectamente calibrados, con la finalidad de obtener resultados concisos los cuales hacen que el laboratorio sea confiable, por tal motivo se creó el procedimiento para la “Revisión, calibración y verificación de equipos”

3.3.5. Trazabilidad metrológica

Para que los equipos del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles cumplan con los requisitos de la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 deben estar calibrados por una institución calificada que cuente con certificación SAE y así poder obtener resultados verídicos y confiables.

Se debe utilizar un sistema de mediada específico para todo el ensayo de inflamabilidad vertical, en el presente proyecto se hizo uso del Sistema Internacional (SI).

Al realizar los ensayos de inflamabilidad vertical se obtienen cierta cantidad de resultados de acuerdo con el número de probetas ensayadas por lo que se debe obtener una media aritmética de todos los datos registrados, para calcular el promedio de dichos valores se utilizó la ecuación 2, [10].

$$\tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (2)$$

3.3.6. Productos y servicios suministrados externamente

El personal del Laboratorio de Investigación Mecánica deberá redactar una solicitud de compras con todas las necesidades requeridas, por lo que se procede a la revisión y aprobación de proveedores externos.

Uno de los principales productos adquiridos externamente por el LIM-UTA es el gas butano, mismo que es utilizado para poder encender el mechero de la cámara de inflamabilidad vertical y horizontal.

3.4. Requisitos del proceso

3.4.1. Revisión de solicitudes, ofertas y contratos

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles ha desarrollado el procedimiento correspondiente para la realización de ensayos de inflamabilidad vertical en textiles, la cual se detalla en el documento “Procedimiento general de ensayo vertical”.

Principalmente, para la ejecución del ensayo de inflamabilidad vertical el cliente deberá enviar una solicitud al director del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical. El registro “Solicitud de ensayo de inflamabilidad vertical” será el documento utilizado para dicho proceso.

Una vez receptada la solicitud se procederá a su análisis, si esta se encuentra dentro de las capacidades del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical se procederá a la recepción de las muestras textiles junto con el arancel correspondiente para los Ensayos de Inflamabilidad Vertical.

3.4.2. Selección, verificación y validación de métodos

3.4.2.1. Selección y verificación de métodos

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical ha seleccionado el método establecido en la Norma ASTM D6413, el cual menciona el acondicionamiento del equipo, las dimensiones y preparación de las muestras y el procedimiento para la realización del ensayo de inflamabilidad vertical para materiales textiles.

3.4.2.2. Validación de los métodos

Debido a que el laboratorio de inflamabilidad usa los métodos establecidos en la Norma ASTM D6413, el momento en el que esta sufra alguna modificación o actualización también se deberá realizar dichos cambios en los métodos utilizados por el laboratorio.

3.4.3. Muestreo

Según la Norma ASTM D6413 para realizar los ensayos de inflamabilidad vertical para materiales textiles el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical requiere de cinco probetas longitudinales y cinco probetas transversales de 76 mm por 300 mm por cada unidad de muestreo.

En el documento “Procedimiento de muestreo” se especifica el procedimiento para recepción de muestras para laboratorio, en caso de que la muestra no cumpla con las especificaciones de la norma utilizada, estas serán devueltas al cliente

3.4.4. Manipulación de los ítems de ensayo o calibración

El personal técnico del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical es el encargado de la manipulación y calibración de los ítems de ensayo, además son los responsables del uso correcto de la cámara de inflamabilidad vertical y el desarrollo adecuado de los ensayos, siguiendo los procedimientos correspondientes establecido en los documentos “Instructivo de ensayo de inflamabilidad vertical” y “Procedimiento de manipulación de los ítems de ensayo vertical” donde se muestra la manipulación y almacenamiento de las muestras.

3.4.5. Registros técnicos

Los procesos que se llevan a cabo en el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical poseen su registro técnico (ANEXO 5) los cuales proporcionan información indispensable con respecto a cada proceso existente incluyendo el personal responsable del registro y revisión de este.

3.4.6. Evaluación de la incertidumbre de medición

La norma ASTM D6413 establece que se debe ensayar al menos cinco muestras longitudinales y cinco transversales por cada material seleccionado, obteniendo una

cantidad considerable de datos por lo que se recomienda realizar un análisis del margen de error mediante una evaluación de incertidumbre.

A continuación, según [10] se detallan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la incertidumbre:

Mediante la ecuación 3 se obtiene la media aritmética de las mediciones obtenidas.

$$\tilde{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n x_i$ = Sumatoria de las medidas obtenidas.
- n = Número total de medidas obtenidas.

Cálculo del error absoluto.

$$Error_{abs} = x_i - \tilde{x} \quad (4)$$

Donde:

- x_i = Medida real de cada muestra.
- \tilde{x} = Promedio de las mediciones

Incetidumbre absoluta o desviación media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{x})^2$ = Sumatoria de los errores absolutos.
- n = número total de medidas.

Valor aceptado, donde se encuentra el rango al que pertenece cada valor medido.

$$Valor_{aceptado} = \tilde{x} \pm S \quad (6)$$

Donde:

\tilde{x} = Promedio de las mediciones.

S = Incertidumbre o desviación media.

Para el cálculo de la incertidumbre en los equipos es necesario poseer un historial de datos del uso de los equipos y las calibraciones realizadas a los mismos, ya que con datos anteriores y los datos actuales se procede a hacer una comparación para obtener la incertidumbre.

3.4.7. Aseguramiento de la validez de los resultados

Los resultados obtenidos de los ensayos de inflamabilidad vertical deben ser registrados en la base de datos del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical de la Universidad Técnica de Ambato, esto debido a los requerimientos establecidos por la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 ya que con dicha base de datos y mediante cálculos estadísticos se espera la fácil detección de tendencias.

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical debe hacer seguimiento de su desempeño y realizar comparaciones con los resultados obtenidos en otros laboratorios dedicados al mismo trabajo, siempre y cuando estén disponibles y sean apropiados.

3.4.8. Informe de resultados

Una vez concluidos los ensayos de inflamabilidad vertical se debe emitir un informe donde se muestran los resultados de las pruebas realizadas de forma exacta, clara y objetiva con toda la información necesaria para el cliente.

3.4.8.1. Requisitos para informe de resultados del ensayo

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical está en la capacidad de emitir los resultados obtenidos en los ensayos de inflamabilidad vertical en materiales textiles mediante un informe, el cual cumple con los requerimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN-ISO/IEC 17025-2018.

El registro “Formato de informe de resultados” contiene la información necesaria para la emisión de resultados de los ensayos de inflamabilidad vertical realizados.

3.4.8.2. Información sobre declaraciones de conformidad

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles emite las declaraciones de conformidad las cuales serán mencionadas de manera clara en las colusiones del informe de resultados del ensayo.

En este caso las declaraciones de conformidad están asociadas con la Industria Textil ya que la norma utilizada es la ASTM D6413, la cual contiene el procedimiento para ensayos de inflamabilidad vertical en materiales textiles.

3.4.8.3. Información sobre opiniones e interpretaciones

En el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles de acuerdo con el documento “Instructivo de ensayo de inflamabilidad vertical”, el personal a cargo de la elaboración del informe de ensayos es el Coordinador del laboratorio conjunto con los datos otorgados por el personal técnico, por lo tanto, el Coordinador es el personal autorizado para la emisión de opiniones e interpretaciones de los ensayos realizados.

3.4.8.4. Modificación de informes

En caso de existir algún error en el informe de resultados se emitirá uno nuevo, previa autorización del director del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles, indicando el error encontrado en dicho informe. El registro “Modificación de informe de resultados” muestra el formato para la corrección de los informes de resultados.

3.4.9. Quejas

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles con el fin de brindar un servicio de calidad ha establecido un procedimiento de quejas y apelaciones, las cuales se pueden presentar en la realización del ensayo o en el informe de resultados, el documento “Procedimiento de gestión de quejas y apelaciones” muestra de forma más detallada dicho proceso.

3.4.10. Trabajo no conforme

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles de la Universidad Técnica de Ambato cataloga como Trabajo no conforme las siguientes circunstancias:

- Ensayos realizados sin considerar los requerimientos establecidos por la Norma ASTM D6413.
- Ensayos realizados sin la adecuada calibración de los equipos.
- Inconsistencias en el registro de datos.
- Errores en la emisión del informe de resultados de ensayos.

En el documento “Procedimiento de trabajo no conforme” se muestra el procedimiento para trabajo no conforme establecido por el laboratorio de inflamabilidad vertical.

3.4.11. Control de los datos y gestión de la Información

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles de la Universidad Técnica de Ambato para el correcto desarrollo de actividades se ha creado una lista maestra de documentos (ANEXO 8), la cual consta de documentos, instructivos, registros y normas como se muestra en la Fig. 22.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD VERTICAL										
LISTA MAESTRA DE DOCUMENTOS										
CÓDIGO:		R-LIM-LMD	VERSIÓN:	0	FECHA:	04/07/2023	PÁGINA 1 DE 1			
Estado	Código	Versión	Nombre del documento	Estado (V/D/M)	Fecha de aprobación	Fecha de modificación	Fecha de derogación	Tipo de documento		Responsable del documento
								Físico	Digital	
Recepción y validación	D-LIM-SFSAP	0	Seleccionar, formar, supervisar y autorizar al personal.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-PC	0	Procedimiento cero	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-PPP	0	Perfiles profesionales del personal.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-FRP	0	Funciones y responsabilidades del personal.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-ICA	0	Instalaciones y condiciones ambientales.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-PAAL	0	Procedimiento de acceso, reglas de autorización y uso del laboratorio.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-FT	0	Fichas técnicas.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-RCV	0	Revisión, calibración y verificación de equipos.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-PSE	0	Procedimiento de productos y servicios suministrados externamente.	V	06/07/2023				X	
	D-LIM-PGEV	0	Procedimiento general de ensayo vertical.	V	06/07/2023				X	
Desarrollo	D-LIM-PM	0	Procedimiento de muestreo.	V	06/07/2023				X	
			Procedimiento de manipulación de los ítems de ensayo	V	06/07/2023				X	

Figura 22. Lista Maestra.

3.5. Requisitos del sistema de gestión

El sistema de gestión del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical de la Universidad Técnica de Ambato está conformado de la siguiente forma:

3.5.1. Control de documentos

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical cuenta con el procedimiento respectivo para el control de documentos, donde se establece los códigos de identificación de toda la documentación con la que cuenta el laboratorio.

El documento establecido para dicho proceso es el “Procedimiento de control de documentos”.

3.5.2. Control de registros

En el documento “Procedimiento de control de registros” se ha establecido un procedimiento de control de registros, donde se almacena toda la evidencia recaudada de las actividades realizadas en el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical y almacenadas con su respectivo nombre y código de identificación.

3.5.3. Acciones para abordar riesgos y oportunidades

Los laboratorios de inflamabilidad no se encuentran exentos de riesgos por lo cual el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical de la Universidad Técnica de Ambato ha creado una matriz de riesgos con el fin de disminuir los riesgos que afectan a la integridad del laboratorio de inflamabilidad, además mediante el documento “Procedimiento de mejora continua” se ha implementado un procedimiento donde se establece el control constante de las políticas y objetivos de calidad, verificación de datos, auditorías y medidas correctivas por parte de la dirección del laboratorio.

3.5.4. Mejora

El Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical cuenta con el procedimiento de mejora continua, este tiene como finalidad la mejora de los procesos internos del laboratorio.

3.5.5. Acciones correctivas

El “Procedimiento de acciones correctivas” del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical se lo realiza al momento de existir desviaciones con el sistema de gestión, este permite identificar problemas con el área administrativa o técnica.

3.5.6. Auditorías internas

Para la evaluación del sistema de gestión del Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical se ha establecido el “Procedimiento de Auditorías internas” la misma que se lleva a cabo una vez al año bajo dirección y planeación del director del laboratorio de inflamabilidad.

3.5.7. Revisiones por la dirección

Las revisiones por la dirección permiten al director realizar una revisión anual del sistema de gestión donde se tratan temas como el cumplimiento de objetivos, revisión de políticas de calidad y procedimientos, informe de resultados, no conformidades, etc. El documento “Procedimiento de revisiones por la dirección” muestra de manera más específica dicho proceso.

3.6. Implementación del sistema de gestión

Se realizó la implementación de Documentos, Registros e Instructivos en el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales textiles.

La documentación utilizada en la implementación del sistema de gestión fue:

- (R-LIM-SEIV) Solicitud de Ensayo de Inflamabilidad Vertical.
- (R-LIM-ESC) Encuesta de Satisfacción al Cliente.
- (R-LIM-SIL) Solicitud de Ingreso al Laboratorio.
- (R-LIM-SQA) Solicitud de Quejas y Apelaciones.
- (D-LIM-PM) Procedimiento de muestreo.
- (D-LIM-PMIEV) Procedimiento de manipulación de los ítems de ensayo vertical.
- (I-LIM-IEIV) Instructivo Acondicionamiento y Preparación de Muestras.
- (I-LIM-IEIV) Instructivo de ensayo de inflamabilidad vertical.

- (R-LIM-RDM) Registro de Datos de Muestreo.
- (R-LIM-RDTE) Registro de Datos de Ensayo.
- (R-LIM-RDE) Registro de Ensayos.
- (R-LIM-RTI) Registro Técnico de Informes.
- (R-LIM-FIR) Formato de Informe de Resultados.

Dichos documentos se encuentran alojados en los archivos del laboratorio, los cuales por motivos de confidencialidad no pueden ser publicados.

3.7. Desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical para materiales textiles

Para el desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical se seleccionaron 5 materiales textiles, los cuales fueron:

- Textil Nomex o Ignífugo
- Textil Antifluidos
- Textil Denim (Jean)
- Textil Poliéster Troquelado
- Textil Algodón

3.7.1. Validación del método

Con la finalidad de demostrar que el método de ensayo fue el apropiado, se realizó la validación del método de cada uno de los materiales seleccionados. La validación del método se la realizó mediante el uso de un software especializado donde se realizó la evaluación del sistema de medición y la evaluación de los componentes de la varianza.

3.7.1.1. Criterios para la aceptación del sistema de medición

El manual Automotive Industry Action Group (AIAG) recomienda, si la variación del sistema de medición es inferior al 10%, el sistema de medición es aceptable.

Para realizar la evaluación del sistema de medición se debe comparar el Gage R&R Total del sistema de medición en la columna “% Var. Estudio (%VE)” junto con los criterios establecidos por la AIAG, (ANEXO 9) [46].

En la Fig. 23 se puede observar los criterios de evaluación del sistema de medición recomendados por la AIAG.

Porcentaje de variación del proceso	Aceptabilidad
Menos de 10%	El sistema de medición es aceptable.
Entre 10% y 30%	El sistema de medición es aceptable dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de la reparación u otros factores.
Más de 30%	El sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado.

Figura 23. Criterios de evaluación del sistema de medición recomendados por la AIAG [46].

3.7.1.1. Criterios para la aceptación de los componentes de la varianza

Para realizar la evaluación de los componentes de la varianza se debe comparar la columna “% Contribución” junto con los criterios establecidos por la AIAG, los cuales se encuentran detallados en la Fig. 24, [46].

Porcentaje de los componentes de la varianza	Aceptabilidad
Menos de 1%	El sistema de medición es aceptable.
Entre 1% y 9%	El sistema de medición es aceptable dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de la reparación u otros factores.
Más de 9%	El sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado.

Figura 24. Criterios de evaluación de los componentes de la varianza recomendados por la AIAG [46].

3.7.2. Ensayo de inflamabilidad en Textil Nomex o Ignífugo

- Se tomaron 64 muestras de las cuales 32 fueron cortadas de forma longitudinal (en dirección a los hilos de urdiembre) y los 32 restantes fueron cortadas de forma transversal (en dirección a los hilos de trama).
- Las muestras fueron divididas en dos grupos (grupo A y grupo B) donde a cada grupo le corresponde 16 muestras longitudinales y 16 transversales.
- El tiempo de ensayo por cada grupo fue de 1 día por lo que el ensayo de las 64 muestras se las realizó en un periodo de dos días.

- El acondicionamiento de las muestras de textil Nomex se las realizó por un periodo mínimo de 24 horas, a una temperatura de 24 ± 2 °C y a una humedad relativa de 55 ± 5 %, según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles (ANEXO 3) a la cual hace referencia la Norma ASTM D6413.
- El ensayo de inflamabilidad vertical se desarrolló de acuerdo con el procedimiento establecido en el Instructivo de Ensayo de Inflamabilidad Vertical (I-LIM- IEIV), el cual se encuentra en los archivos del Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA y por motivos de confidencialidad no puede ser publicado.

3.7.2.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Nomex)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de urdiembre y acondicionadas según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles.

A continuación, en la Tabla 10 se puede observar los datos generales de ensayo del textil Nomex con dirección de las fibras longitudinales.

Tabla 10. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.




 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Nomex o Ignífugo	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Celeste	Color reverso:	Celeste		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	24 ± 2	Humedad relativa (%):	55 ± 5

Tabla 10. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical – longitudinal (continuación).

Dirección de las fibras:	Longitudinal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.
Código de ensayo:	EIV-01	Fecha de ensayo:	15/06/2023
Fotografía del Textil Nomex antes del ensayo de inflamabilidad.			
			

Durante el desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical en el textil Nomex se registraron los tiempos de post- inflamación, post- incandescencia, fusión o goteo y longitud de carbonización, todos estos son requerimientos establecidos por la Norma ASTM D6413, en la Tabla 11 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo A.

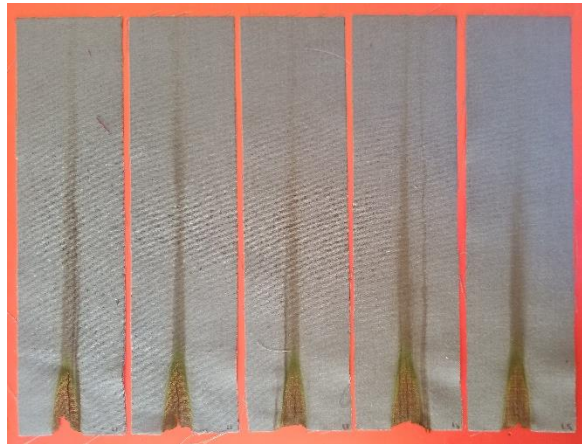
Tabla 11. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex - longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Nomex				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal- Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	0	1.82	47.09	No
2	0	1.4	46.72	No
3	0	1.7	49.86	No
4	0	1.07	44.93	No
5	0	1.26	50	No
6	0	1.22	46.07	No

Tabla 11. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex – longitudinal (continuación).

7	0	1.1	50.86	No
8	0	1.13	45.65	No
9	0	1.38	52.2	No
10	0	1.6	48.74	No
11	0	1.1	74.18	No
12	0	1.28	73.08	No
13	0	2	66.86	No
14	0	1.06	75.45	No
15	0	1.17	62.5	No
16	0	2.05	68.18	No

Fotografía del Textil Nomex después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical



Observaciones:

- Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- inflamación
- Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo.

En la Tabla 12 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales del grupo B.

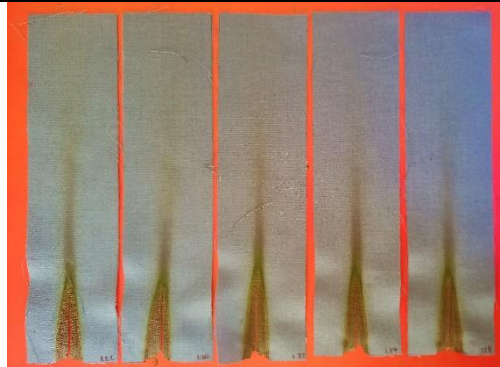
Tabla 12. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex- longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Nomex				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	0	1.3	81.14	No
2	0	1.1	74.7	No
3	0	1.27	70.36	No

Tabla 12. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex- longitudinal (continuación).

4	0	1.03	73.69	No
5	0	0.89	72.23	No
6	0	1.3	75.51	No
7	0	0.96	71.2	No
8	0	1.4	56.42	No
9	0	0.8	73.87	No
10	0	1.2	69.8	No
11	0	1.22	74.43	No
12	0	0.85	73.49	No
13	0	1.4	70.87	No
14	0	1.35	73.35	No
15	0	1.1	72.97	No
16	0	1.2	68.13	No

Fotografía del Textil Nomex después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical



Observaciones:

- Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- inflamación
- Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo.

3.7.2.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Nomex)

Las correcciones de las mediciones se las realizó mediante los ANEXOS 6 y 7 donde se muestran los certificados de calibración de los instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical, los cuales se detallan a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.

Instrumentos de Medición		
Objeto	Marca	Código
Cronómetro	Sper Scientific	DP-60CR01-D
Regla	Fénix	IM-30RL02-A

La calibración de los instrumentos de medición fue realizada por el Laboratorio de Calibración Acreditado ELICROM. En los certificados se detallan los errores de medición de acuerdo con el tiempo y distancia registrados.

A continuación, en la Fig. 25 se observa los resultados de calibración del cronómetro.

Valor de Prueba <i>Test Value</i>	Indicación Ítem <i>Item Reading</i>	Indicación Patrón <i>Standard Reading</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>	Incertidumbre (U) <i>Uncertainty (U)</i>	Factor de Cobertura (k) <i>Coverage factor</i>
s	s	s	s	s	
5	5,35	5,3440	0,0060	0,0066	2,03
30	30,35	30,3520	-0,0020	0,0066	2,03
60	60,51	60,5089	0,0011	0,0066	2,03
120	120,36	120,3589	0,0011	0,0066	2,03
300	300,40	300,4017	-0,0017	0,0066	2,03
600	600,40	600,3965	0,0035	0,0066	2,03
1200	1200,23	1200,2139	0,0161	0,0066	2,03
1800	1800,23	1800,2154	0,0146	0,0066	2,03
2700	2700,10	2700,0856	0,0144	0,0066	2,03
3600	3600,45	3600,4318	0,0182	0,0066	2,03
5400	5400,53	5400,5031	0,0269	0,0066	2,03
7200	7200,45	7200,4065	0,0435	0,0066	2,03

Figura 25. Certificado de calibración cronómetro Sper Scientific.

En la Fig. 26 se observa los resultados de calibración de la regla Fénix.

Valor Nominal <i>Nominal Value</i>	Resultado <i>Result</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>
cm	cm	cm
1,5	1,4950	-0,0050
3	2,9950	-0,0050
6	6,0000	0,0000
9	9,0000	0,0000
15	15,0000	0,0000
18	18,0000	0,0000
21	21,0050	0,0050
24	24,0050	0,0050
27	27,0000	0,0000
30	30,0000	0,0000

Figura 26. Certificado de calibración de la regla Fénix.

En la Tabla 14 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados de los ANEXOS 6 y 7.

El textil Nomex presentó un tiempo de post – inflamación igual a cero debido a que es un textil ignífugo.

Tabla 14. Textil Nomex - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo A.

Corrección de las Mediciones - Textil Nomex					
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	-0.05	0	1.814	47.14
2	0.006	-0.05	0	1.394	46.77
3	0.006	-0.05	0	1.694	49.91
4	0.006	-0.05	0	1.064	44.98
5	0.006	-0.05	0	1.254	50.05
6	0.006	-0.05	0	1.214	46.12
7	0.006	-0.05	0	1.094	50.91
8	0.006	-0.05	0	1.124	45.7
9	0.006	-0.05	0	1.374	52.25
10	0.006	-0.05	0	1.594	48.79
11	0.006	0	0	1.094	74.18
12	0.006	0	0	1.274	73.08
13	0.006	0	0	1.994	66.86
14	0.006	0	0	1.054	75.45
15	0.006	0	0	1.164	62.5
16	0.006	0	0	2.044	68.18
Promedio =			0	1,39	56.43

A continuación, en la Tabla 15 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 15. Textil Nomex - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Nomex					
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo B		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0	0	1.294	81.14
2	0.006	0	0	1.094	74.7
3	0.006	0	0	1.264	70.36
4	0.006	0	0	1.024	73.69
5	0.006	0	0	0.884	72.23
6	0.006	0	0	1.294	75.51
7	0.006	0	0	0.954	71.2
8	0.006	-0.05	0	1.394	56.47
9	0.006	0	0	0.794	73.87
10	0.006	0	0	1.194	69.8
11	0.006	0	0	1.214	74.43
12	0.006	0	0	0.844	73.49
13	0.006	0	0	1.394	70.87
14	0.006	0	0	1.344	73.35
15	0.006	0	0	1.094	72.97
16	0.006	0	0	1.194	68.13
Promedio =			0	1.1421	72.013

3.7.2.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Nomex)

Debido a que el textil Nomex es una fibra ignífuga esta no presenta llama alguna, siendo entonces un material auto extinguido y por lo tanto el tiempo de post-inflamación es igual a cero.

3.7.2.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Nomex)

A continuación, se detallan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia:

Mediante la ecuación 7 se obtuvo la media aritmética de las mediciones obtenidas.

$$\tilde{t} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n x_i$ = Sumatoria de las medidas obtenidas.
- n = Número total de medidas obtenidas.

Cálculo del error absoluto.

$$Error_{abs} = x_i - \tilde{t} \quad (8)$$

Donde:

- x_i = Medida real de cada muestra.
- \tilde{t} = Promedio de los tiempos de post – incandescencia.

Incertidumbre absoluta o desviación media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{t})^2}{n - 1}} \quad (9)$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{t})^2$ = Sumatoria de los errores absolutos.
- n = número total de medidas.

Valor aceptado, donde se encuentra el rango al que pertenece cada valor medido.

$$Valor_{aceptado} = \tilde{t} \pm S \quad (10)$$

Donde:

\tilde{t} = Promedio de los tiempos de post–incandescencia.

S = Incertidumbre o desviación media.

A continuación, en las Tablas 16 y 17 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre del tiempo de post-incandescencia para el grupo A y B respectivamente.

Tabla 16. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- incandescencia (s) – Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	1.814	0.180	0.3352
2	1.394	0.000	
3	1.694	0.092	
4	1.064	0.106	
5	1.254	0.019	
6	1.214	0.031	
7	1.094	0.088	
8	1.124	0.071	
9	1.374	0.000	
10	1.594	0.042	
11	1.094	0.088	
12	1.274	0.014	
13	1.994	0.365	
14	1.054	0.113	
15	1.164	0.051	
16	2.044	0.427	
Promedio (\bar{t})=	1.39025	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (1.39 \pm 0.34) \text{ s}$	
t mayor =	2.044		
t menor=	1.054		
$\Delta t =$	0.495		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post-incandescencia para las muestras longitudinales del grupo A es de 0.34 s.

- El valor aceptado para el tiempo de post-incandescencia para las muestras longitudinales del grupo A es de:

$$t = (1.39 \pm 0.34) \text{ s.}$$

Tabla 17. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post-incandescencia - grupo B

Incertidumbre del Tiempo de Post- incandescencia (s) – Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	1.294	0.023	0.1949
2	1.094	0.002	
3	1.264	0.015	
4	1.024	0.014	
5	0.884	0.067	
6	1.294	0.023	
7	0.954	0.035	
8	1.394	0.063	
9	0.794	0.121	
10	1.194	0.003	
11	1.214	0.005	
12	0.844	0.089	
13	1.394	0.063	
14	1.344	0.041	
15	1.094	0.002	
16	1.194	0.003	
Prom (\bar{t})=	1.142	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (1.14 \pm 0.19) \text{ s}$	
t mayor =	1.394		
t menor =	0.794		
$\Delta t =$	0.3		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post-incandescencia para las muestras longitudinal del grupo B es de 0.19 s.

- El valor aceptado para el tiempo de post-incandescencia para las muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (1.14 \pm 0.19) \text{ s.}$$

3.7.2.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Nomex)

A continuación, se detallan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización:

Mediante la ecuación 11 se calculó la media aritmética de las mediciones obtenidas.

$$\widetilde{Lq} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (11)$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n x_i$ = Sumatoria de las medidas obtenidas.
- n = Número total de medidas obtenidas.

Cálculo del error absoluto.

$$Error_{abs} = x_i - \widetilde{Lq} \quad (12)$$

Donde:

- x_i = Medida real de cada muestra.
- \widetilde{Lq} = Promedio de las longitudes de carbonización.

Incertidumbre absoluta o desviación media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{Lq})^2}{n - 1}} \quad (13)$$

Donde:

- $\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{Lq})^2$ = Sumatoria de los errores absolutos.
- n = número total de medidas.

Valor aceptado, donde se encuentra el rango al que pertenece cada valor medido.

$$Valor_{aceptado} = \widetilde{Lq} \pm S \quad (14)$$

Donde:

\bar{Lq} = Promedio de las longitudes de carbonización.

S = Incertidumbre o desviación media.

A continuación, en la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A.

Tabla 18. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.

Incertidumbre de la Longitud de Carbonización (mm) - Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	47.14	86.292	11.429
2	46.77	93.304	
3	49.91	42.502	
4	44.98	131.088	
5	50.05	40.696	
6	46.12	106.283	
7	50.91	30.464	
8	45.7	115.119	
9	52.25	17.467	
10	48.79	58.360	
11	74.18	315.085	
12	73.08	277.243	
13	66.86	108.798	
14	75.45	361.784	
15	62.5	36.852	
16	68.18	138.077	
Prom (\bar{Lq})=	56.429	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (56.43 \pm 11.43)$ mm	
Lq mayor =	75.45		
Lq menor=	44.98		
$\Delta Lq =$	15.235		

- El valor de la incertidumbre de Lq del grupo A es de 11.43 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras longitudinales del grupo A es de:

$$Lq = (56.43 \pm 11.43) \text{ mm.}$$

En la Tabla 19 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo B.

Tabla 19. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.

Incertidumbre de la Longitud de Carbonización (mm) – Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	81.14	83.300	5.0731
2	74.7	7.219	
3	70.36	2.733	
4	73.69	2.812	
5	72.23	0.047	
6	75.51	12.228	
7	71.2	0.661	
8	56.47	241.589	
9	73.87	3.448	
10	69.8	4.898	
11	74.43	5.841	
12	73.49	2.181	
13	70.87	1.307	
14	73.35	1.787	
15	72.97	0.916	
16	68.13	15.079	
Promedio (\bar{Lq})=	72.013	<i>Valor</i> _{aceptado} $t = \bar{t} \pm S$ $Lq = (72.01 \pm 5.07) \text{ mm}$	
Lq mayor =	81.14		
Lq menor =	56.47		
$\Delta Lq =$	12.335		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras longitudinales del grupo B es de 5.07 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras longitudinales del grupo B es de:

$$Lq = (72.01 \pm 5.07) \text{ mm.}$$

3.7.2.6. Tasa de combustión (Textil Nomex)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el material textil Nomex.

$$B = 60 \times \left(\frac{Lq}{T} \right) \quad (15)$$

Donde:

B = Tasa de combustión (mm/min).

Lq = Longitud de carbonización (mm).

t = Tiempo de post- inflamación de la distancia (s).

Debido a que el Textil Nomex es un material ignifugo, el tiempo de post – inflamación es igual a cero, por ende, la tasa de combustión para este tipo de material es cero, tanto para el grupo A como para el grupo B.

3.7.2.7. Validación del método mediante software especializado

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

En la Fig. 27 se observa los datos obtenidos respecto a los Componentes de la Varianza y la Evaluación del Sistema de Medición.

Validación del Método Nomex- Longitudinal

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0	*
Repetibilidad	0	*
Reproducibilidad	0	*
Parte a parte	0	*
Variación total	0	*

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0	0	*
Repetibilidad	0	0	*
Reproducibilidad	0	0	*
Parte a parte	0	0	*
Variación total	0	0	*

Figura 27. Validación del método Textil Nomex - longitudinal.




- En este caso debido a que el textil Nomex es un material ignifugo y la tasa de combustión para dicho material es cero, la validación del método no sería necesaria ya que el porcentaje de evaluación del sistema de medición también sería cero como se observa en la figura 27.
- Según el criterio de evaluación de la AIAG (Fig. 23) si el porcentaje de evaluación del sistema es menor al 10%, el sistema de medición es aceptable.
- Debido a los resultados obtenidos se puede concluir que el sistema de medición para el textil Nomex es ACEPTABLE.

3.7.2.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Nomex)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de trama.

A continuación, en la Tabla 20 se puede observar los datos generales de ensayo del textil Nomex con dirección de las fibras transversales.

Tabla 20. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical							
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)						
Nombre del material:	Textil Nomex o Ignífugo		Número de muestras:	32			
Color anverso:	Celeste		Color reverso:	Celeste			
Dimensión (mm):	300 x 76		Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical			
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	24 ± 2	Humedad relativa (%):	55 ± 5		
Dirección de las fibras:	Transversal		Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.			
Código de ensayo:	EIV-02		Fecha de ensayo:	16/06/2023			
Fotografía del Textil Nomex antes del ensayo de inflamabilidad.							
							

A continuación, en las Tablas 21 y 22 se observan los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo A y B respectivamente.

Tabla 21. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex.

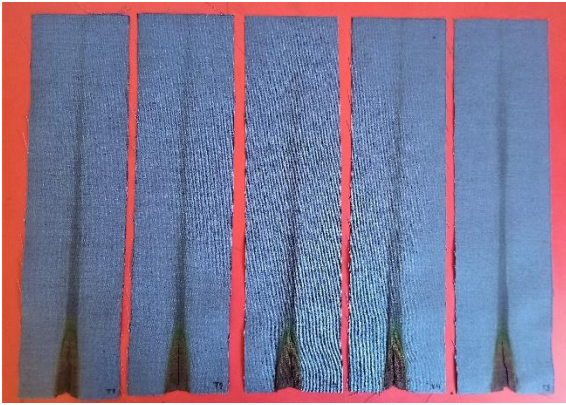
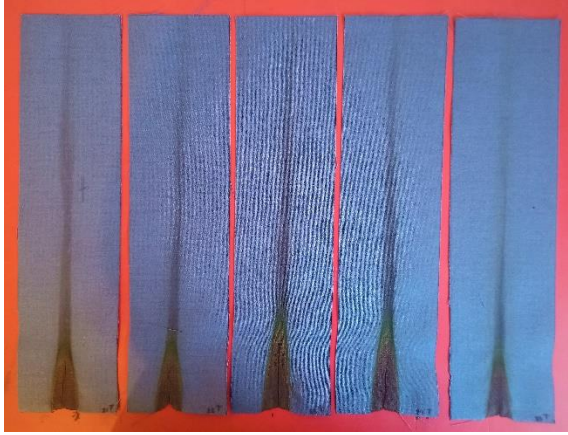
Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Nomex				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	0	1.61	48.16	No
2	0	1.21	44.2	No
3	0	2	42.4	No
4	0	1	43.51	No
5	0	1.5	40.52	No
6	0	0.81	47.76	No
7	0	2.00	43.67	No
8	0	0.6	51.02	No
9	0	0.96	38.29	No
10	0	1	45.26	No
11	0	1.32	46.82	No
12	0	1.4	45.92	No
13	0	1.1	45.63	No
14	0	1.61	40.46	No
15	0	1.2	44.05	No
16	0	1.78	46.49	No
Fotografía del Textil Nomex después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- inflamación - Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo. 				

Tabla 22. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Nomex.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Nomex				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	0	2.00	45.58	No
2	0	0.79	56.76	No
3	0	1.54	55.04	No
4	0	0.99	38.21	No
5	0	1.12	34.34	No
6	0	0.77	33.51	No
7	0	1.00	39.03	No
8	0	1.00	37.94	No
9	0	0.41	38.58	No
10	0	0.61	40.48	No
11	0	0.85	45.72	No
12	0	4.00	63.87	No
13	0	4.53	68.93	No
14	0	0.53	34.87	No
15	0	1.37	37.12	No
16	0	2.00	45.61	No
Fotografía del Textil Nomex después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- inflamación - Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo. 				

3.7.2.9. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Nomex)

En la Tabla 23 se puede observar las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales de acuerdo con los factores de corrección tomados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 23. Textil Nomex - Corrección de las mediciones transversales – grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Nomex					
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo A		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	-0.05	0	1.604	48.21
2	0.006	-0.05	0	1.204	44.25
3	0.006	-0.05	0	1.994	42.45
4	0.006	-0.05	0	0.994	43.56
5	0.006	-0.05	0	1.494	40.57
6	0.006	-0.05	0	0.804	47.81
7	0.006	-0.05	0	1.994	43.72
8	0.006	-0.05	0	0.594	51.07
9	0.006	-0.05	0	0.954	38.34
10	0.006	-0.05	0	0.994	45.31
11	0.006	-0.05	0	1.314	46.87
12	0.006	-0.05	0	1.394	45.97
13	0.006	-0.05	0	1.094	45.68
14	0.006	-0.05	0	1.604	40.51
15	0.006	-0.05	0	1.194	44.1
16	0.006	-0.05	0	1.774	46.54
Promedio =			0	1.312	46.685

En la Tabla 24 se puede observar las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 24. Textil Nomex - Corrección de las mediciones transversales – grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Nomex					
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo B		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	-0.05	0	1.994	45.63
2	0.006	-0.05	0	0.784	56.81
3	0.006	-0.05	0	1.534	55.09
4	0.006	-0.05	0	0.984	38.26
5	0.006	-0.05	0	1.114	34.39
6	0.006	-0.05	0	0.764	33.56
7	0.006	-0.05	0	0.994	39.08
8	0.006	-0.05	0	0.994	37.99
9	0.006	-0.05	0	0.404	38.63
10	0.006	-0.05	0	0.604	40.53
11	0.006	-0.05	0	0.844	45.77
12	0.006	0	0	3.994	63.87
13	0.006	0	0	4.524	68.93
14	0.006	-0.05	0	0.524	34.92
15	0.006	-0.05	0	1.364	37.17
16	0.006	-0.05	0	1.994	45.66
Promedio =			0	1.46	44.77

3.7.2.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Nomex)

Debido a que el textil Nomex es una fibra ignífuga esta no presentó llama alguna, siendo entonces un material auto extinguido y por lo tanto el tiempo de post-inflamación es igual a cero.

3.7.2.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Nomex)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post-incandescencia.

En la Tabla 25 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 25. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.

Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (s) Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	1.604	0.085	0.4108
2	1.204	0.012	
3	1.994	0.464	
4	0.994	0.102	
5	1.494	0.033	
6	0.804	0.259	
7	1.994	0.464	
8	0.594	0.517	
9	0.954	0.129	
10	0.994	0.102	
11	1.314	0.000	
12	1.394	0.007	
13	1.094	0.048	
14	1.604	0.085	
15	1.194	0.014	
16	1.774	0.213	
Promedio(\bar{t})=	1.313	$t = (1.31 \pm 0.41) s$ Valor Aceptado	
t mayor =	1.994		
t menor=	0.594		
$\Delta t =$	0.7		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post incandescencia para las muestras transversales del grupo A es de 0.41 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post incandescencia para las muestras transversales del grupo A es de:

$$t = (1.31 \pm 0.41) \text{ s.}$$

En la Tabla 26 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo B.

Tabla 26. Textil Nomex - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- incandescencia (s) – Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \tilde{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{t})^2}{n - 1}}$
1	1.994	0.282	1.1894
2	0.784	0.462	
3	1.534	0.005	
4	0.984	0.230	
5	1.114	0.122	
6	0.764	0.489	
7	0.994	0.220	
8	0.994	0.220	
9	0.404	1.122	
10	0.604	0.739	
11	0.844	0.384	
12	3.994	6.404	
13	4.524	9.367	
14	0.524	0.882	
15	1.364	0.010	
16	1.994	0.282	
Promedio (\tilde{t})=	1.463	$Valor_{aceptado} t = \tilde{t} \pm S$ $t = (1.46 \pm 1.19) \text{ s}$	
t mayor =	4.524		
t menor=	0.404		
$\Delta t =$	2.06		

- El valor de la incertidumbre calculada del grupo B es de 1.19 s.

- El valor aceptado para el tiempo de post incandescencia para las muestras transversales del grupo B es de: $t = (1.46 \pm 1.19)$ s.

3.7.2.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Nomex)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización. En la Tabla 27 y 28 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A y B.

Tabla 27. Textil Nomex - Incertidumbre de la longitud de carbonización - grupo A.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) - Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n-1}}$
1	48.21	12.426	3.23
2	44.25	0.189	
3	42.45	4.995	
4	43.56	1.266	
5	40.57	16.933	
6	47.81	9.766	
7	43.72	0.931	
8	51.07	40.768	
9	38.34	40.259	
10	45.31	0.391	
11	46.87	4.774	
12	45.97	1.651	
13	45.68	0.990	
14	40.51	17.431	
15	44.1	0.342	
16	46.54	3.441	
Prom (\bar{Lq})=	44.685	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (44.69 \pm 3.23)$ mm	
Lq mayor=	51.07		
Lq menor=	38.34		
$\Delta Lq =$	6.365		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras transversales del grupo A es de 3.23 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras transversales del grupo A es de:

$$Lq = (44.69 \pm 3.23) \text{ mm.}$$

Tabla 28. Textil Nomex - Incertidumbre de la longitud de carbonización - grupo B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Nomex			
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo B
No	x_i	$(x_i - \tilde{x})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \tilde{Lq})^2}{n - 1}}$
1	45.63	0.743	10.854
2	56.81	145.007	
3	55.09	106.541	
4	38.26	42.356	
5	34.39	107.705	
6	33.56	125.622	
7	39.08	32.355	
8	37.99	45.943	
9	38.63	37.677	
10	40.53	17.962	
11	45.77	1.004	
12	63.87	364.882	
13	68.93	583.796	
14	34.92	96.986	
15	37.17	57.732	
16	45.66	0.795	
Prom $(\tilde{Lq})=$	44.768	Valor Aceptado ($Lq = \tilde{Lq} \pm S$)	
t mayor =	68.93		
t menor=	33.56		
$\Delta Lq =$	17.685		
		$Lq = (44.77 \pm 10.85) \text{ mm}$	

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras transversales del grupo B es de 10.85 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras transversales del grupo B es de:

$$Lq = (44.77 \pm 3.23) \text{ mm.}$$

3.7.2.13. Validación del método mediane software especializado

Como se observa en la Fig. 28 el “% de Contribución” y el “% Var. Estudio” es cero, por lo tanto, el sistema de medición es considerado ACEPTABLE ya que se presenta el mismo caso expuesto sobre la validación del método del textil Nomex con dirección de fibras longitudinales donde el porcentaje de evaluación del sistema es menor al 10 %, siendo este un porcentaje válido según los criterios establecidos por el manual de la AIAG.

Validación del Método Nomex- Longitudinal

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0	*
Repetibilidad	0	*
Reproducibilidad	0	*
Parte a parte	0	*
Variación total	0	*

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0	0	*
Repetibilidad	0	0	*
Reproducibilidad	0	0	*
Parte a parte	0	0	*
Variación total	0	0	*

Figura 28. Validación del método transversal.

3.7.3. Ensayos de inflamabilidad en Textil Antifluidos




- Se tomaron 64 muestras de las cuales 32 fueron cortadas de forma longitudinal (en dirección a los hilos de urdiembre) y los 32 restantes fueron cortadas de forma transversal (en dirección a los hilos de trama).
- Las muestras fueron divididas en dos grupos (grupo A y grupo B) donde a cada grupo le corresponde 16 muestras longitudinales y 16 transversales.
- El tiempo de ensayo por cada grupo fue de 1 día por lo que el ensayo de las 64 muestras se las realizó en un periodo de dos días.
- El acondicionamiento de las muestras del textil antifluidos se las realizó por un periodo mínimo de 24 horas, a una temperatura de 24 ± 2 °C y a una humedad relativa de 55 ± 5 %, según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles (ANEXO 3) a la cual hace referencia la Norma ASTM D6413.
- El ensayo de inflamabilidad vertical se desarrolló de acuerdo con el procedimiento establecido en el Instructivo de Ensayo de Inflamabilidad Vertical (I-LIM- IEIV), el cual se encuentra en los archivos del Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA y por motivos de confidencialidad no puede ser publicado.

3.7.3.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Antifluidos)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de urdiembre y acondicionadas según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles.


A continuación, en la Tabla 29 se puede observar los datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical para el textil antifluidos, con dirección de las fibras longitudinales.

Tabla 29. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA			
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Antifluidos	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Verde Persa	Color reverso:	Verde Persa		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	48	Temperatura (°C):	24 ± 2	Humedad relativa (%):	55 ± 5
Dirección de las fibras:	Longitudinal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		
Código de ensayo:	EIV-03	Fecha de ensayo:	21/06/2023		
Fotografía del Textil Antifluidos antes del ensayo de inflamabilidad.					
					


En la Tabla 30 se pueden observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo A, donde se registraron los tiempos de post- inflamación, post- incandescencia, fusión o goteo y longitud de carbonización, todos estos son requerimientos establecidos por la Norma ASTM D6413.

Tabla 30. Datos del ensayo de Inflamabilidad vertical -Textil Antifluidos longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Antifluidos				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal- Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	24.32	0	176.9	Si
2	25.12	0	300	Si
3	29.61	0	300	Si
4	38.73	0	300	Si
5	57.38	0	300	Si
6	43.46	0	300	Si
7	56.48	0	300	Si
8	24.22	0	300	Si
9	49.16	0	300	Si
10	32.07	0	202.12	Si
11	47.16	0	300	Si
12	21.74	0	248.44	Si
13	56.58	0	300	Si
14	37.19	0	300	Si
15	22.66	0	180.66	Si
16	21.14	0	193.54	Si
Fotografía del Textil Antifluidos después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia. - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. - En la mayoría de las muestras la llama consumió la longitud total de la muestra que fue de 300 mm. 				

En la Tabla 31 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras longitudinales correspondientes al Grupo B.

Tabla 31. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Antifluidos longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Antifluidos				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	60	0	300	Si
2	50.82	0	300	Si
3	33.5	0	204.06	Si
4	39.53	0	300	Si
5	34.43	0	300	Si
6	25.13	0	208.4	Si
7	33.11	0	129.51	Si
8	80.86	0	300	Si
9	26.63	0	184.2	Si
10	27.85	0	195.44	Si
11	28.24	0	225.61	Si
12	39.01	0	300	Si
13	26.14	0	189.22	Si
14	50.2	0	300	Si
15	36.16	0	192.63	Si
16	20.28	0	181.66	Si
Fotografía del Textil Antifluidos después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. 				

3.7.3.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Antifluidos)

Las correcciones de las mediciones se las realizó mediante los ANEXOS 6 y 7 donde se muestran los certificados de calibración de los instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical, dichos instrumentos se detallan a continuación en la Tabla 32.

Tabla 32. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.

Instrumentos de Medición		
Objeto	Marca	Código
Cronómetro	Sper Scientific	DP-60CR01-D
Regla	Fénix	IM-30RL02-A

La calibración de los instrumentos de medición fue realizada por el Laboratorio de Calibración Acreditado ELICROM. En los certificados de calibración se detallan los errores de medición de acuerdo con el tiempo y distancia registrados.

En la Tabla 33 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados.

Tabla 33. Textil Antifluidos- Corrección de las mediciones longitudinales - grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Antifluidos					
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0	24.314	0	176.9
2	0.006	0	25.114	0	300
3	0.006	0	29.604	0	300
4	-0.002	0	38.732	0	300

Tabla 33. Textil Antifluidos - Corrección de las mediciones longitudinales - grupo A (continuación).

5	-0.002	0	57.382	0	300
6	0.149	0	43.311	0	300
7	0.149	0	56.331	0	300
8	0.006	0	24.214	0	300
9	-0.002	0	49.162	0	300
10	-0.002	0	32.072	0	202.12
11	-0.002	0	47.162	0	300
12	0.006	0.05	21.734	0	248.39
13	-0.002	0	56.582	0	300
14	-0.002	0	37.192	0	300
15	0.006	0	22.654	0	180.66
16	0.006	0	21.134	0	193.54
Promedio =			36.668	0	268.851

A continuación, en la Tabla 34 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados.

Tabla 34. Textil Antifluidos- Corrección de las mediciones longitudinales - grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Antifluidos					
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo B		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.0011	0	59.999	0	300
2	-0.002	0	50.822	0	300
3	-0.002	0	33.502	0	204.06
4	-0.002	0	39.532	0	300
5	-0.002	0	34.432	0	300
6	0.006	0	25.124	0	208.4

Tabla 34. Textil Antifluidos - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo B (continuación).

7	-0.002	0	33.112	0	129.51
8	0.0011	0	80.859	0	300
9	0.006	0	26.624	0	184.2
10	0.006	0	27.844	0	195.44
11	0.006	0.05	28.234	0	225.56
12	-0.002	0	39.012	0	300
13	0.006	0	26.134	0	189.22
14	-0.002	0	50.202	0	300
15	-0.002	0	36.162	0	192.63
16	0.006	0	20.274	0	181.66
Promedio =			38.242	0	238.168

3.7.3.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Antifluidos)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación.

A continuación, en la Tabla 35 se observa la incertidumbre del tiempo de post – inflamación obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 35. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	24.314	152.631	13.4167
2	25.114	133.504	
3	29.604	49.905	

Tabla 35. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación - grupo A (continuación).

4	38.732	4.259	
5	57.382	429.054	
6	43.311	44.124	
7	56.331	386.619	
8	24.214	155.111	
9	49.162	156.091	
10	32.072	21.127	
11	47.162	110.116	
12	21.734	223.036	
13	56.582	396.552	
14	37.192	0.274	
15	22.654	196.403	
16	21.134	241.317	
Promedio (\bar{t})=	36.668	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (36.67 \pm 13.42) \text{ s}$	
t mayor =	57.382		
t menor=	21.134		
$\Delta t =$	18.124		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post-inflamación para las muestras longitudinales del grupo A es de:

$$S = 13.42 \text{ s.}$$

- El valor aceptado para el tiempo de post-inflamación para las muestras longitudinales del grupo A es de:

$$t = (36.67 \pm 13.42) \text{ s.}$$

En la Tabla 36 se observa la incertidumbre del tiempo de post–inflamación obtenida para las muestras longitudinales del grupo B.

Tabla 36. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo B
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	59.999	473.374	15.590
2	50.822	158.263	
3	33.502	22.465	
4	39.532	1.665	
5	34.432	14.514	
6	25.124	172.075	
7	33.112	26.314	
8	80.859	1816.223	
9	26.624	134.972	
10	27.844	108.113	
11	28.234	100.155	
12	39.012	0.593	
13	26.134	146.597	
14	50.202	143.048	
15	36.162	4.325	
16	20.274	322.840	
Promedio (\bar{t})=	38.241	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (38.24 \pm 15.6) \text{ s}$	
t mayor =	80.858		
t menor =	20.274		
$\Delta t =$	30.292		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post-inflamación para las muestras longitudinales del grupo B es de 15.6 s.

- El valor aceptado para el tiempo de post-inflamación para las muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (38.24 \pm 15.6) \text{ s.}$$

3.7.3.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Antifluidos)

Las muestras tanto para el grupo A como para el grupo B no presentaron resplandor residual ya que la llama se extinguía completamente de la muestra una vez retirado el fuego, por lo tanto, el tiempo de post incandescencia registrado es igual a cero.

3.7.3.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Antifluidos)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización.

A continuación, en la Tabla 37 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A.

Tabla 37. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	176.9	8454.917	49.9659
2	300	970.284	
3	300	970.284	
4	300	970.284	
5	300	970.284	
6	300	970.284	
7	300	970.284	
8	300	970.284	
9	300	970.284	
10	202.12	4452.976	
11	300	970.284	

Tabla 37. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A (continuación).

12	248.39	418.637	
13	300	970.284	
14	300	970.284	
15	180.66	7777.586	
16	193.54	5671.690	
Prom (\bar{Lq})=	268.851	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (268.85 \pm 49.97)$ mm	
Lq mayor=	300		
Lq menor=	176.9		
$\Delta Lq =$	61.55		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras longitudinales del grupo A es de 49.97 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras longitudinales del grupo A es de:

$$Lq = (268.85 \pm 49.97) \text{ mm.}$$

En la Tabla 38 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo B.

Tabla 38. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	300	3823.258	59.5418
2	300	3823.258	
3	204.06	1163.322	
4	300	3823.258	

Tabla 38. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B (continuación).

5	300	3823.258	
6	208.4	886.104	
7	129.51	11806.452	
8	300	3823.258	
9	184.2	2912.491	
10	195.44	1825.639	
11	225.56	158.949	
12	300	3823.258	
13	189.22	2395.858	
14	300	3823.258	
15	192.63	2073.664	
16	181.66	3193.098	
Prom (\bar{Lq})=	238.168	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (238.17 \pm 59.54)$ mm	
Lq mayor=	300		
Lq menor=	129.51		
$\Delta Lq =$	85.245		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras longitudinales del grupo B es de 59.54 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras longitudinales del grupo B es de:

$$Lq = (238.17 \pm 59.54) \text{ mm.}$$

3.7.3.6. Tasa de combustión (Textil Antifluidos)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil antifluidos.

$$B = 60 \times \left(\frac{Lq}{t} \right) \quad (15)$$

Donde:

B = Tasa de combustión (mm/min).

Lq = Longitud de carbonización (mm).

t = Tiempo de post- inflamación (s).

En la Tabla 39 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 39. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	176.9	24.314	436.539
2	300	25.114	716.732
3	300	29.604	608.026
4	300	38.732	464.732
5	300	57.382	313.687
6	300	43.311	415.599
7	300	56.331	319.540
8	300	24.214	743.372
9	300	49.162	366.136
10	202.12	32.072	378.124
11	300	47.162	381.663
12	248.39	21.734	685.718
13	300	56.582	318.122
14	300	37.192	483.975
15	180.66	22.654	478.485
16	193.54	21.134	549.465
Promedio =	268.850625	36.668375	478.745

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 478.75 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 40 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 40. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	59.999	300.006
2	300	50.822	354.177
3	204.06	33.502	365.459
4	300	39.532	455.327
5	300	34.432	522.770
6	208.4	25.124	497.691
7	129.51	33.112	234.676
8	300	80.859	222.610
9	184.2	26.624	415.114
10	195.44	27.844	421.146
11	225.56	28.234	479.337
12	300	39.012	461.396
13	189.22	26.134	434.423
14	300	50.202	358.551
15	192.63	36.162	319.612
16	181.66	20.274	537.615
Promedio =	238.1675	38.242	398.744

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 398.74 \text{ mm / min}$$

3.7.3.7. Validación del método mediante software especializado (Textil Antifluidos)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

A continuación, en la Tabla 41 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 41. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Antifluidos.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Antifluidos					
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	436.539	300.006	743.372	483.975	421.146
2	716.732	354.177	716.732	479.337	415.599
3	608.026	365.459	685.718	478.485	415.114
4	464.732	455.327	608.026	464.732	381.663
5	313.687	522.77	549.465	461.396	378.124
6	415.599	497.691	537.615	455.327	366.136
7	319.54	234.676	522.77	436.539	365.459
8	743.372	222.61	497.691	434.423	358.551
9	366.136	415.114	483.975	421.146	354.177
10	378.124	421.146	479.337	415.599	319.612
11	381.663	479.337	478.485	415.114	319.54
12	685.718	461.396	464.732	381.663	318.122
13	318.122	434.423	461.396	378.124	313.687
14	483.975	358.551	455.327	366.136	300.006
15	478.485	319.612	436.539	365.459	234.676
16	549.465	537.615	434.423	358.551	222.61

3.7.3.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Antifluidos)

En la Fig. 29 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Antifluído - Longitudinal)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	99.57	4.29
Repetibilidad	99.57	4.29
Reproducibilidad	0.00	0.00
Parte a parte	2220.81	95.71
Variación total	2320.38	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE ²)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	9.9785	59.871	20.72
Repetibilidad	9.9785	59.871	20.72
Reproducibilidad	0.0000	0.000	0.00
Parte a parte	47.1255	282.753	97.83
Variación total	48.1704	289.022	100.00

Número de categorías distintas = 6

Figura 29. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Antifluidos.

3.7.3.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Antifluidos)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para muestras longitudinales para el textil antifluidos es de 4.29 %, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio" para muestras longitudinales para el textil antifluidos es de 20.72% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de "Parte a parte" se encuentra entre el 95.71% y el 97.83%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.7.3.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Antifluidos)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de trama. A continuación, en la Tabla 42 se puede observar los datos generales de ensayo del textil antifluidos con dirección de las fibras transversales.

Tabla 42. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.



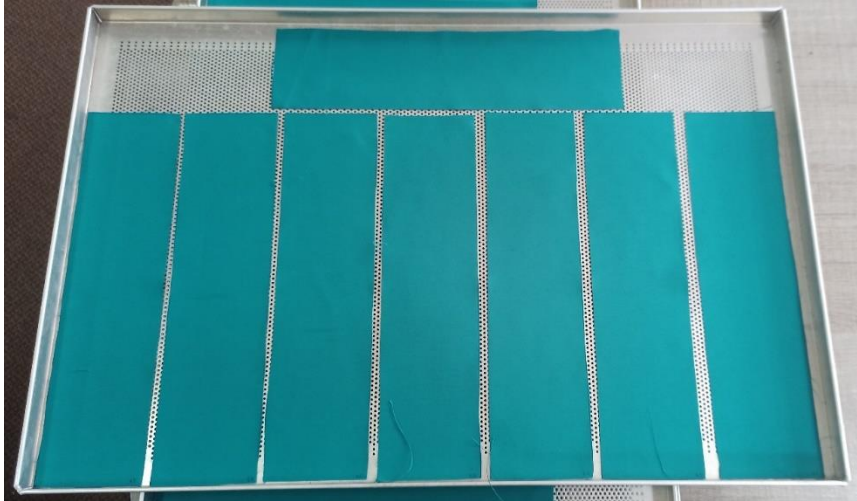
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Antifluidos	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Verde Persa	Color reverso:	Verde Persa		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	48	Temperatura (°C):	24 ± 2	Humedad relativa (%):	55 ± 5
Dirección de las fibras:	Transversal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		

Tabla 42. Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical – transversal
(continuación).

Código de ensayo:	EIV-04	Fecha de ensayo:	22/06/2023
Fotografía del Textil Antifluidos antes del ensayo de inflamabilidad.			
			

A continuación, en la Tabla 43 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo A.

Tabla 43. Datos del Ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Antifluidos – transversal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Antifluidos				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	42.31	0	300	Si
2	27.67	0	300	Si
3	29.89	0	300	Si
4	20.1	0	263.94	Si
5	36.64	0	300	Si

Tabla 43. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Antifluidos – transversal (continuación).

6	63.45	0	300	Si
7	64.93	0	300	Si
8	36.53	0	300	Si
9	40.73	0	300	Si
10	24.18	0	215.39	Si
11	33.95	0	300	Si
12	56.48	0	300	Si
13	40.31	0	300	Si
14	53.86	0	300	Si
15	31.88	0	300	Si
16	75	0	300	Si

Fotografía del Textil Antifluidos después del Ensayo de Inflamabilidad




Observaciones:

- Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia
- Todas las muestras presentaron fusión o goteo.
- En la mayoría de las muestras la llama consumió la longitud total de la muestra que fue de 300 mm.

A continuación, en la Tabla 44 se observa los datos obtenidos del ensayo de inflamabilidad correspondientes al grupo B.

Tabla 44. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Antifluidos - transversal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Antifluidos				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	21.32	0	211.44	Si
2	51.87	0	300	Si
3	18.7	0	222.76	Si
4	35.12	0	300	Si
5	27.96	0	300	Si
6	37.8	0	300	Si
7	31.61	0	243.04	Si
8	26.07	0	300	Si
9	21.13	0	300	Si
10	48.08	0	300	Si
11	36.87	0	300	Si
12	35.45	0	300	Si
13	46.96	0	300	Si
14	33.07	0	300	Si
15	41.15	0	300	Si
16	11.35	0	144.59	Si
Fotografía del Textil Antifluidos después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia. - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. - En la mayoría de las muestras la llama consumió la longitud total de la muestra que fue de 300 mm. 				

3.7.3.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Antifluidos)

En la Tabla 45 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales de acuerdo con los factores de corrección tomados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 45. Textil Antifluidos - Corrección de las mediciones transversales - grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Antifluidos					
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo A		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0	42.312	0	300
2	0.006	0	27.664	0	300
3	0.006	0	29.884	0	300
4	0.006	0.05	20.094	0	263.89
5	-0.002	0	36.642	0	300
6	0.0011	0	63.4489	0	300
7	0.0011	0	64.9289	0	300
8	-0.002	0	36.532	0	300
9	-0.002	0	40.732	0	300
10	0.006	0.05	24.174	0	215.34
11	-0.002	0	33.952	0	300
12	-0.002	0	56.482	0	300
13	-0.002	0	40.312	0	300
14	-0.002	0	53.862	0	300
15	-0.002	0	31.882	0	300
16	0.0011	0	74.9989	0	300
Promedio =			42.369	0	292.452

En la Tabla 46 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 46. Textil Antifluidos - Corrección de las mediciones transversales - grupo B.

Corrección de las Mediciones - Textil Antifluidos					
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo B		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0.05	21.314	0	211.39
2	-0.002	0	51.872	0	300
3	0.006	0.05	18.694	0	222.71
4	-0.002	0	35.122	0	300
5	0.006	0	27.954	0	300
6	-0.002	0	37.802	0	300
7	-0.002	0.05	31.612	0	242.99
8	0.006	0	26.064	0	300
9	0.006	0	21.124	0	300
10	-0.002	0	48.082	0	300
11	-0.002	0	36.872	0	300
12	-0.002	0	35.452	0	300
13	-0.002	0	46.962	0	300
14	-0.002	0	33.072	0	300
15	-0.002	0	41.152	0	300
16	0.006	0	11.344	0	144.59
Promedio =			32.781	0	276.355

3.7.3.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Antifluidos)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación.

A continuación, en la Tabla 47 y 48 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A y B.

Tabla 47. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	42.312	0.003	15.9232
2	27.664	216.231	
3	29.884	155.870	
4	20.094	496.166	
5	36.642	32.796	
6	63.449	444.371	
7	64.929	508.958	
8	36.532	34.068	
9	40.732	2.679	
10	24.174	331.051	
11	33.952	70.842	
12	56.482	199.183	
13	40.312	4.230	
14	53.862	132.094	
15	31.882	109.973	
16	74.999	1064.724	
Promedio (\bar{t})=	42.369	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (42.37 \pm 15.92) \text{ s}$	
t mayor =	74.999		
t menor=	20.094		
$\Delta t =$	27.452		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post- inflamación para muestras transversales del grupo A es de 15.92 s.

- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo A es de:

$$t = (42.37 \pm 15.92) \text{ s.}$$

Tabla 48. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- incandescencia (s) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo B
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	21.314	131.489	11.3124
2	51.872	364.471	
3	18.694	198.440	
4	35.122	5.481	
5	27.954	23.299	
6	37.802	25.212	
7	31.612	1.366	
8	26.064	45.116	
9	21.124	135.883	
10	48.082	234.124	
11	36.872	16.737	
12	35.452	7.135	
13	46.962	201.104	
14	33.072	0.085	
15	41.152	70.076	
16	11.344	459.540	
Promedio (\bar{t})=	32.781	Valor aceptado $t = \bar{t} \pm S$ $t = (32.78 \pm 11.31) \text{ s}$	
t mayor =	51.872		
t menor =	11.344		
$\Delta t =$	20.264		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo B es de 11.31 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo B es de:

$$t = (32.78 \pm 11.31) \text{ s.}$$

3.7.3.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Antifluidos)

Las muestras tanto para el grupo A como para el grupo B no presentaron resplandor residual por lo tanto el tiempo de post incandescencia registrado es igual a cero.

3.7.3.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Antifluidos)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización para muestras transversales.

A continuación, en la Tabla 49 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A.

Tabla 49. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	300	56.974	22.4494
2	300	56.974	
3	300	56.974	
4	263.89	815.781	
5	300	56.974	
6	300	56.974	
7	300	56.974	
8	300	56.974	
9	300	56.974	

Tabla 49. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A (continuación).

10	215.34	5946.241	
11	300	56.974	
12	300	56.974	
13	300	56.974	
14	300	56.974	
15	300	56.974	
16	300	56.974	
Prom (\bar{Lq})=	292.452	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (292.45 \pm 22.45)$ mm	
Lq mayor=	300		
Lq menor=	215.34		
$\Delta Lq =$	42.33		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras transversales del grupo A es de 22.45 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras transversales del grupo A es de:

$$Lq = (292.45 \pm 22.45) \text{ mm.}$$

En la Tabla 50 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondientes a las muestras transversales del grupo B.

Tabla 50. Textil Antifluidos - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	211.39	4220.451	46.3914
2	300	559.086	

Tabla 50. Textil Antifluido - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.

3	222.71	2877.786	
4	300	559.086	
5	300	559.086	
6	300	559.086	
7	242.99	1113.223	
8	300	559.086	
9	300	559.086	
10	300	559.086	
11	300	559.086	
12	300	559.086	
13	300	559.086	
14	300	559.086	
15	300	559.086	
16	144.59	17362.015	
Prom (\bar{L}_q)=	276.355	Valor Aceptado ($L_q = \bar{L}_q \pm S$) $L_q = (276.4 \pm 46.39)$ mm	
Lq mayor =	300		
Lq menor=	144.59		
$\Delta L_q =$	77.705		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras transversales del grupo B es de 46.39 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para las muestras transversales del grupo B es de:

$$L_q = (276.4 \pm 46.39) \text{ mm.}$$

3.7.3.13. Tasa de combustión (Textil Antifluidos)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil antifluidos.

En la Tabla 51 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 51. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	42.312	425.411
2	300	27.664	650.665
3	300	29.884	602.329
4	263.89	20.094	787.967
5	300	36.642	491.240
6	300	63.4489	283.693
7	300	64.9289	277.226
8	300	36.532	492.719
9	300	40.732	441.913
10	215.34	24.174	534.475
11	300	33.952	530.160
12	300	56.482	318.686
13	300	40.312	446.517
14	300	53.862	334.187
15	300	31.882	564.582
16	300	74.9989	240.004
Promedio =	292.452	42.369	463.861

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 463.86 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 52 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 52. Textil Antifluidos - Cálculo de la tasa de combustión – Grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	211.39	21.314	595.074
2	300	51.872	347.008
3	222.71	18.694	714.807
4	300	35.122	512.499
5	300	27.954	643.915
6	300	37.802	476.165
7	242.9	31.612	461.198
8	300	26.064	690.608
9	300	21.124	852.111
10	300	48.082	374.360
11	300	36.872	488.175
12	300	35.452	507.729
13	300	46.962	383.289
14	300.000	33.072	544.267
15	300	41.152	437.403
16	144.59	11.344	764.757
Promedio =	276.355	32.781	549.585

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 549.59 \text{ mm / min.}$$

3.7.3.14. Validación del método mediante software especializado (Textil Antifluidos)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración del grupo A y B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por

tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

En la Tabla 53 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 53. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Antifluidos.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Antifluidos					
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	425.411	595.074	852.111	595.074	491.24
2	650.665	347.008	787.967	564.582	488.175
3	602.329	714.807	764.757	544.267	476.165
4	787.967	512.499	714.807	534.475	461.198
5	491.240	643.915	690.608	530.16	446.517
6	283.693	476.165	650.665	512.499	441.913
7	277.226	461.198	643.915	507.729	437.403
8	492.719	690.608	602.329	492.719	425.411
9	441.913	852.111	595.074	491.24	383.289
10	534.475	374.360	564.582	488.175	374.36
11	530.160	488.175	544.267	476.165	347.008
12	318.686	507.729	534.475	461.198	334.187
13	446.517	383.289	530.16	446.517	318.686
14	334.187	544.267	512.499	441.913	283.693
15	564.582	437.403	507.729	437.403	277.226
16	240.004	764.757	492.719	425.411	240.004

3.7.3.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Antifluidos)

En la Fig. 30 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Antifluido - Transversal)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	122.58	4.48
Repetibilidad	122.58	4.48
Reproducibilidad	0.00	0.00
Parte a parte	2616.07	95.52
Variación total	2738.65	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	11.0715	66.429	21.16
Repetibilidad	11.0715	66.429	21.16
Reproducibilidad	0.0000	0.000	0.00
Parte a parte	51.1475	306.885	97.74
Variación total	52.3321	313.993	100.00

Figura 30. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Antifluidos.

3.7.3.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Antifluidos)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para muestras transversales para el textil antifluidos es de 4.48 %, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio"

para muestras transversales para el textil antifluidos es de 21.16% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de “Parte a parte” se encuentra entre el 95.52% y el 97.74%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.7.4. Ensayos de inflamabilidad – Textil Denim (Jeans)

- Se tomaron 64 muestras de las cuales 32 fueron cortadas de forma longitudinal (en dirección a los hilos de urdiembre) y los 32 restantes fueron cortadas de forma transversal (en dirección a los hilos de trama).
- Las muestras fueron divididas en dos grupos (grupo A y grupo B) donde a cada grupo le corresponde 16 muestras longitudinales y 16 transversales.
- El tiempo de ensayo por cada grupo fue de 1 día por lo que el ensayo de las 64 muestras se las realizó en un periodo de dos días.
- El acondicionamiento de las muestras del textil denim se las realizó por un periodo mínimo de 24 horas, a una temperatura de 21 ± 2 °C y a una humedad relativa de 65 ± 5 %, según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles (ANEXO 3) a la cual hace referencia la Norma ASTM D6413.
- El ensayo de inflamabilidad vertical se desarrolló de acuerdo con el procedimiento establecido en el Instructivo de Ensayo de Inflamabilidad Vertical (I-LIM- IEIV), el cual se encuentra en los archivos del Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA y por motivos de confidencialidad no puede ser publicado.

3.7.4.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Denim)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de urdiembre. A continuación, en la Tabla 54 se puede observar los datos generales de ensayo del textil denim, con dirección de las fibras longitudinales.

Tabla 54. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA			
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Denim	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Azul	Color reverso:	Plomo		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	21 ± 2	Humedad relativa (%):	65 ± 5
Dirección de las fibras:	Longitudinal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		
Código de ensayo:	EIV-05	Fecha de ensayo:	27/06/2023		
Fotografía del Textil Denim antes del ensayo de inflamabilidad.					
					

Durante el desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical en el textil Denim se registraron los tiempos de post- inflamación, post- incandescencia, fusión o goteo y longitud de carbonización, todos estos son requerimientos establecidos por la Norma ASTM D6413, los cuales son utilizados para medir la resistencia de los textiles expuestos a una llama vertical.

En la Tabla 55 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales

correspondientes al Grupo A, donde se registró una longitud de carbonización igual a 300 mm debido a que la llama consumió la longitud total de la muestra.

Tabla 55. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - longitudinal.


Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Denim				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal- Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	35.37	160.1	300	Si
2	41.44	74.41	300	Si
3	34.65	148.26	300	Si
4	42.36	180.69	300	Si
5	32.68	169.3	300	Si
6	33.61	180.96	300	Si
7	49.73	184.32	300	Si
8	51.02	116.31	300	Si
9	61.95	130.19	300	Si
10	33.7	106.5	300	Si
11	34.15	152.26	300	Si
12	43.1	130.17	300	Si
13	39.41	170.91	300	Si
14	48.56	150.33	300	Si
15	50.58	144.92	300	Si
16	46.11	129.24	300	Si
Fotografía del Textil Denim después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				

Tabla 55. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim – longitudinal (continuación).


<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. - En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm. - Los gases producto de la combustión fueron más densos que el resto de los materiales ensayados.

En la Tabla 56 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo B.

Tabla 56. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Denim				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	55.33	123.8	300	Si
2	33.32	167.17	300	Si
3	34.21	134.77	300	Si
4	28.49	139.98	300	Si
5	28.99	117.47	300	Si
6	44.16	136.14	300	Si
7	53.82	107.88	300	Si
8	43.2	89.73	300	Si
9	42.22	128.67	300	Si
10	39.53	146.49	300	Si
11	53.31	126.35	300	Si
12	38.3	168.13	300	Si
13	31.78	116.54	300	Si
14	40.29	105.88	300	Si
15	34.76	130.82	300	Si
16	38.34	122.45	300	Si

Tabla 56. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim – longitudinal
(continuación).

Fotografía del Textil Denim después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical	
	
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. - En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm. - Los gases producto de la combustión fueron más densos que el resto de los materiales ensayados. 	

3.7.4.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Denim)

Las correcciones de las mediciones se las realizó mediante los ANEXOS 6 y 7 donde se muestran los certificados de calibración de los instrumentos de medición utilizados, dichos instrumentos se detallan a continuación en la Tabla 57.

Tabla 57. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.

Instrumentos de Medición		
Objeto	Marca	Código
Cronómetro	Sper Scientific	DP-60CR01-D
Regla	Fénix	IM-30RL02-A

La calibración de los instrumentos de medición fue realizada por el Laboratorio de Calibración Acreditado ELICROM. En los certificados de calibración se detallan los errores de medición de acuerdo con el tiempo y distancia registrados.

En la Tabla 58 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados.

Tabla 58. Textil Denim - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Denim						
Dirección de las fibras de las muestras:				Longitudinal – Grupo A		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0.0011	0	35.372	160.0989	300
2	-0.002	0.0011	0	41.442	74.4089	300
3	-0.002	0.0011	0	34.652	148.2589	300
4	-0.002	0.0011	0	42.362	180.6889	300
5	-0.002	0.0011	0	32.682	169.2989	300
6	-0.002	0.0011	0	33.612	180.9589	300
7	-0.002	0.0011	0	49.732	184.3189	300
8	-0.002	0.0011	0	51.022	116.3089	300
9	0.0011	0.0011	0	61.9489	130.1889	300
10	-0.002	0.0011	0	33.702	106.4989	300
11	-0.002	0.0011	0	34.152	152.2589	300
12	-0.002	0.0011	0	43.102	130.1689	300
13	-0.002	0.0011	0	39.412	170.9089	300
14	-0.002	0.0011	0	48.562	150.3289	300
15	-0.002	0.0011	0	50.582	144.9189	300
16	-0.002	0.0011	0	46.112	129.2389	300
Promedio =				42.403	145.553	300

En la Tabla 59 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales del grupo B de acuerdo con los factores de corrección utilizados.

Tabla 59. Textil Denim - Corrección de las mediciones longitudinales – grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Denim						
Dirección de las fibras de las muestras:				Longitudinal – Grupo B		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0.0011	0	55.332	123.7989	300
2	-0.002	0.0011	0	33.322	167.1689	300
3	-0.002	0.0011	0	34.212	134.7689	300
4	0.006	0.0011	0	28.484	139.9789	300
5	0.006	0.0011	0	28.984	117.4689	300
6	-0.002	0.0011	0	44.162	136.1389	300
7	-0.002	0.0011	0	53.822	107.8789	300
8	-0.002	0.0011	0	43.202	89.7289	300
9	0.0011	0.0011	0	42.2189	128.6689	300
10	-0.002	0.0011	0	39.532	146.4889	300
11	-0.002	0.0011	0	53.312	126.3489	300
12	-0.002	0.0011	0	38.302	168.1289	300
13	-0.002	0.0011	0	31.782	116.5389	300
14	-0.002	0.0011	0	40.292	105.8789	300
15	-0.002	0.0011	0	34.762	130.8189	300
16	-0.002	0.0011	0	38.342	122.4489	300
Promedio =				40.003	128.891	300

3.7.4.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Denim)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación.

A continuación, en la Tabla 60 se observa la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 60. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	35.372	49.436	8.4225
2	41.442	0.924	
3	34.652	60.079	
4	42.362	0.002	
5	32.682	94.499	
6	33.612	77.283	
7	49.732	53.713	
8	51.022	74.286	
9	61.9489	382.040	
10	33.702	75.708	
11	34.152	68.080	
12	43.102	0.489	
13	39.412	8.946	
14	48.562	37.933	
15	50.582	66.895	
16	46.112	13.756	
Promedio (\bar{t})=	42.403	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (42.4 \pm 8.42) \text{ s}$	
t mayor =	61.949		
t menor=	32.682		
$\Delta t =$	14.633		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo A es de 8.42 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo A es de:

$$t = (42.4 \pm 8.42) \text{ s.}$$

A continuación, en la Tabla 61 se observa la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo B.

Tabla 61. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – Grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- inflamación (s) – Textil Antifluidos			
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo B
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	55.332	234.950	8.4411
2	33.322	44.648	
3	34.212	33.546	
4	28.484	132.709	
5	28.984	121.439	
6	44.162	17.290	
7	53.822	190.939	
8	43.202	10.228	
9	42.2189	4.906	
10	39.532	0.223	
11	53.312	177.105	
12	38.302	2.897	
13	31.782	67.600	
14	40.292	0.083	
15	34.762	27.478	
16	38.342	2.762	
Promedio (\bar{t})=	40.004	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (40 \pm 8.44) \text{ s}$	
t mayor =	55.332		
t menor =	28.484		
$\Delta t =$	13.424		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo B es de 8.44 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (40 \pm 8.44) \text{ s.}$$

3.7.4.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Denim)

La incertidumbre del tiempo de post – incandescencia se calculó mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas al inicio de este capítulo.

En la Tabla 62 se observa la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 62. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	160.099	211.575	30.1834
2	74.409	5061.522	
3	148.259	7.320	
4	180.689	1234.512	
5	169.299	563.855	
6	180.959	1253.558	
7	184.319	1502.774	
8	116.309	855.233	
9	130.189	236.064	
10	106.499	1525.244	
11	152.259	44.965	
12	130.169	236.679	

Tabla 62. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A (continuación).

13	170.909	642.908	
14	150.329	22.807	
15	144.919	0.402	
16	129.239	266.159	
Promedio (\bar{t})=	145.553	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (145.55 \pm 30.18) \text{ s}$	
t mayor =	184.32		
t menor=	74.41		
$\Delta t =$	54.955		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo A es de 30.18 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo A es de:

$$t = (145.55 \pm 30.18) \text{ s.}$$

Tabla 63. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	123.799	25.927	20.64
2	167.169	1465.215	
3	134.769	34.552	
4	139.979	122.947	
5	117.469	130.459	
6	136.139	52.535	
7	107.879	441.499	

Tabla 63. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B (continuación).

8	89.729	1533.652	
9	128.669	0.049	
10	146.489	309.694	
11	126.349	6.461	
12	168.129	1539.630	
13	116.539	152.569	
14	105.879	529.546	
15	130.819	3.718	
16	122.449	41.498	
Promedio (\bar{t})=	128.891	<p style="text-align: center;"><i>Valor_{aceptado}</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (128.89 \pm 20.64) \text{ s}$</p>	
t mayor =	168.129		
t menor=	89.729		
$\Delta t =$	39.2		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo B es de 20.64 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (128.89 \pm 20.64) \text{ s.}$$

3.7.4.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Denim)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización.

A continuación, en la Tabla 64 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A y B.

Tabla 64. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A y B	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	300	0	0
2	300	0	
3	300	0	
4	300	0	
5	300	0	
6	300	0	
7	300	0	
8	300	0	
9	300	0	
10	300	0	
11	300	0	
12	300	0	
13	300	0	
14	300	0	
15	300	0	
16	300	0	
Prom (\bar{Lq})=	300	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (300 \pm 0)$ mm	
Lq mayor =	300		
Lq menor=	300		
$\Delta Lq =$	0		

En este caso para el grupo A y B la incertidumbre de la longitud de carbonización es igual a cero debido a que durante los ensayos de inflamabilidad vertical la llama consumió en su totalidad la longitud de la muestra.

3.7.4.6. Tasa de combustión (Textil Denim)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil Denim.

En la Tabla 65 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 65. Textil Denim - Tasa de combustión – grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	35.372	508.877
2	300	41.442	434.342
3	300	34.652	519.451
4	300	42.362	424.909
5	300	32.682	550.762
6	300	33.612	535.523
7	300	49.732	361.940
8	300	51.022	352.789
9	300	61.9489	290.562
10	300	33.702	534.093
11	300	34.152	527.056
12	300	43.102	417.614
13	300	39.412	456.714
14	300	48.562	370.660
15	300	50.582	355.858
16	300	46.112	390.354
Promedio =	300	42.403	439.469

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 439.5 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 66 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 66. Textil Denim - Tasa de combustión – grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	55.332	325.309
2	300	33.322	540.184
3	300	34.212	526.131
4	300	28.484	631.934
5	300	28.984	621.032
6	300	44.162	407.590
7	300	53.822	334.436
8	300	43.202	416.647
9	300	42.2189	426.349
10	300	39.532	455.327
11	300	53.312	337.635
12	300	38.302	469.949
13	300	31.782	566.358
14	300	40.292	446.739
15	300	34.762	517.807
16	300	38.342	469.459
Promedio =	300	40	468.31

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 468.31 \text{ mm / min.}$$

3.7.4.7. Validación del método mediane software especializado (Textil Denim)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

A continuación, en la Tabla 67 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 67. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Denim.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Denim					
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	508.877	325.309	631.934	526.131	446.739
2	434.342	540.184	621.032	519.451	434.342
3	519.451	526.131	566.358	517.807	426.349
4	424.909	631.934	550.762	508.877	424.909
5	550.762	621.032	540.184	469.949	417.614
6	535.523	407.590	535.523	469.459	416.647
7	361.940	334.436	534.093	456.714	407.59
8	352.789	416.647	527.056	455.327	390.354
9	290.562	426.349	526.131	446.739	370.66
10	534.093	455.327	519.451	434.342	361.94
11	527.056	337.635	517.807	426.349	355.858
12	417.614	469.949	508.877	424.909	352.789
13	456.714	566.358	469.949	417.614	337.635
14	370.660	446.739	469.459	416.647	334.436
15	355.858	517.807	456.714	407.59	325.309
16	390.354	469.459	455.327	390.354	290.562

3.7.4.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Denim)

En la Fig. 31 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Denim - Longitudinal)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	36.27	1.60
Repetibilidad	36.27	1.60
Reproducibilidad	0.00	0.00
Parte a parte	2225.97	98.40
Variación total	2262.24	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	6.0224	36.134	12.66
Repetibilidad	6.0224	36.134	12.66
Reproducibilidad	0.0000	0.000	0.00
Parte a parte	47.1802	283.081	99.20
Variación total	47.5630	285.378	100.00

Figura 31. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Denim.

3.7.4.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Denim)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para muestras longitudinales para el textil denim es de 1.60 %, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De

acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio" para muestras longitudinales para el textil denim es de 12.66% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de "Parte a parte" se encuentra entre el 98.40% y el 99.20%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.7.4.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Denim)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de trama. A continuación, en la Tabla 68 se puede observar los datos generales de ensayo del textil denim con dirección de las fibras transversales.

Tabla 68. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Denim	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Azul	Color reverso:	Plomo		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	21 ± 2	Humedad relativa (%):	65 ± 5
Dirección de las fibras:	Transversal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		
Código de ensayo:	EIV-06	Fecha de ensayo:	28/06/2023		

Tabla 68. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical – transversal
(continuación).



A continuación, en la Tabla 69 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo A.

Tabla 69. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - transversal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Denim				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	47.03	139.26	300	Si
2	47.41	132.62	300	Si
3	34.74	193.64	300	Si
4	32.64	138.03	300	Si
5	33.12	125.22	300	Si
6	43.44	117.32	300	Si
7	42.94	134.98	300	Si
8	36.56	123.83	300	Si
9	37.95	134.57	300	Si

Tabla 69. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim transversal
(continuación).

10	42.65	181.8	300	Si
11	37.59	127.95	300	Si
12	35.94	137.75	300	Si
13	37.82	120.64	300	Si
14	43.28	136.17	300	Si
15	40.19	127.03	300	Si
16	45.72	158.95	300	Si

Fotografía del Textil Denim después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical




Observaciones:

- Todas las muestras presentaron fusión o goteo.
- En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm.
- Los gases producto de la combustión fueron más densos que el resto de los materiales ensayados.

A continuación, en la Tabla 70 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 70. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Denim - transversal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Denim				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	46.39	125.95	300	Si
2	40.6	124.45	300	Si
3	40.63	137.88	300	Si
4	35.76	118.12	300	Si
5	48.18	135.48	300	Si
6	46.93	166.39	300	Si
7	50.24	120.61	300	Si
8	38.68	144.31	300	Si
9	46.92	138.9	300	Si
10	41.22	122.94	300	Si
11	40.68	145.41	300	Si
12	50.54	138.23	300	Si
13	46.86	122.12	300	Si
14	48.31	132.04	300	Si
15	44.14	146.06	300	Si
16	46.54	148.08	300	Si
Fotografía del Textil Denim después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. - En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm. - Los gases producto de la combustión fueron más densos que el resto de los materiales ensayados. 				

3.7.4.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Denim)

En la Tabla 71 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales de acuerdo con los factores de corrección tomados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 71. Textil Denim - Corrección de las mediciones transversales – grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Denim						
Dirección de las fibras de las muestras:				Transversales – Grupo A		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0.0011	0	47.032	139.259	300
2	-0.002	0.0011	0	47.412	132.619	300
3	-0.002	0.0011	0	34.742	193.639	300
4	-0.002	0.0011	0	32.642	138.029	300
5	-0.002	0.0011	0	33.122	125.219	300
6	-0.002	0.0011	0	43.442	117.319	300
7	-0.002	0.0011	0	42.942	134.979	300
8	-0.002	0.0011	0	36.562	123.829	300
9	-0.002	0.0011	0	37.952	134.569	300
10	-0.002	0.0011	0	42.652	181.799	300
11	-0.002	0.0011	0	37.592	127.949	300
12	-0.002	0.0011	0	35.942	137.749	300
13	-0.002	0.0011	0	37.822	120.639	300
14	-0.002	0.0011	0	43.282	136.169	300
15	-0.002	0.0011	0	40.192	127.029	300
16	-0.002	0.0011	0	45.722	158.949	300
Promedio =				39.94	139.36	300

A continuación, en la Tabla 72 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales de acuerdo con los factores de corrección tomados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 72. Textil Denim - Corrección de las mediciones transversales – grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Denim						
Dirección de las fibras de las muestras:				Transversal – Grupo B		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0.0011	0	46.392	125.949	300
2	-0.002	0.0011	0	40.602	124.449	300
3	-0.002	0.0011	0	40.632	137.879	300
4	-0.002	0.0011	0	35.762	118.119	300
5	-0.002	0.0011	0	48.182	135.479	300
6	-0.002	0.0011	0	46.932	166.389	300
7	-0.002	0.0011	0	50.242	120.609	300
8	-0.002	0.0011	0	38.682	144.309	300
9	-0.002	0.0011	0	46.922	138.899	300
10	-0.002	0.0011	0	41.222	122.939	300
11	-0.002	0.0011	0	40.682	145.409	300
12	-0.002	0.0011	0	50.542	138.229	300
13	-0.002	0.0011	0	46.862	122.119	300
14	-0.002	0.0011	0	48.312	132.039	300
15	-0.002	0.0011	0	44.142	146.059	300
16	-0.002	0.0011	0	46.542	148.079	300
Promedio =				44.54	135.434	300

3.7.4.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Denim)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación.

A continuación, en la Tabla 73 se observa la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 73. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	47.032	50.286	4.813
2	47.412	55.820	
3	34.742	27.027	
4	32.642	53.272	
5	33.122	46.495	
6	43.442	12.259	
7	42.942	9.008	
8	36.562	11.416	
9	37.952	3.955	
10	42.652	7.351	
11	37.592	5.517	
12	35.942	15.990	
13	37.822	4.489	
14	43.282	11.164	
15	40.192	0.063	
16	45.722	33.423	
Promedio(\bar{t})=	39.94	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (39.94 \pm 4.81) \text{ s}$	
t mayor =	47.412		
t menor=	32.642		
$\Delta t =$	7.385		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo A es de 4.81 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo A es de $t = (39.94 \pm 4.81) \text{ s}$.

A continuación, en la Tabla 74 se observa la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo B.

Tabla 74. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- inflamación (s) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	46.392	3.427	4.385
2	40.602	15.514	
3	40.632	15.278	
4	35.762	77.066	
5	48.182	13.259	
6	46.932	5.718	
7	50.242	32.504	
8	38.682	34.325	
9	46.922	5.670	
10	41.222	11.014	
11	40.682	14.890	
12	50.542	36.015	
13	46.862	5.388	
14	48.312	14.222	
15	44.142	0.159	
16	46.542	4.005	
Promedio (\bar{t})=	44.54	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (44.54 \pm 4.39) s$	
t mayor =	50.542		
t menor =	36.762		
$\Delta t =$	7.39		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo B es de 4.39 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo B es de:

$$t = (44.54 \pm 4.39) \text{ s.}$$

3.7.4.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Denim)

La incertidumbre del tiempo de post–incandescencia se calculó mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas en este capítulo.

En las Tablas 75 y 76 se pueden observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A y B respectivamente.

Tabla 75. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – Grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	139.259	0.010	21.2804
2	132.619	45.428	
3	193.639	2946.318	
4	138.029	1.769	
5	125.219	199.940	
6	117.319	485.762	
7	134.979	19.184	
8	123.829	241.181	
9	134.569	22.944	
10	181.799	1801.154	
11	127.949	130.188	
12	137.749	2.592	

Tabla 75. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – Grupo A (continuación).

13	120.639	350.438	
14	136.169	10.176	
15	127.029	152.029	
16	158.949	383.768	
Promedio (\bar{t})=	139.359	$\text{Valor}_{\text{aceptado}} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (139.35 \pm 21.28) \text{ s}$	
t mayor =	193.639		
t menor=	117.319		
$\Delta t =$	38.160		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo A es de 21.28 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo A es de:

$$t = (139.35 \pm 21.28) \text{ s.}$$

Tabla 76. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Denim			
Dirección ^{(\bar{t})=} de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo B
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	125.949	89.977	12.9363
2	124.449	120.684	
3	137.879	5.975	
4	118.119	299.831	
5	135.479	0.002	
6	166.389	958.173	
7	120.609	219.799	

Tabla 76. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia grupo B (continuación).

8	144.309	78.755	
9	138.899	12.002	
10	122.939	156.141	
11	145.409	99.488	
12	138.229	7.809	
13	122.119	177.306	
14	132.039	11.530	
15	146.059	112.877	
16	148.079	159.880	
Promedio (\bar{t})=	135.434	<i>Valor_{aceptado} $t = \bar{t} \pm S$</i> $t = (135.43 \pm 12.94) \text{ s}$	
t mayor =	166.389		
t menor=	118.119		
$\Delta t =$	24.135		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo B es de 12.94 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo B es de:

$$T = (135.43 \pm 12.94) \text{ s.}$$

3.7.4.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Denim)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización para muestras transversales.

A continuación, en la Tabla 77 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A y B.

Tabla 77. Textil Denim - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A y B	
No	x_i	$(x_i - \widetilde{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{Lq})^2}{n - 1}}$
1	300	0	0
2	300	0	
3	300	0	
4	300	0	
5	300	0	
6	300	0	
7	300	0	
8	300	0	
9	300	0	
10	300	0	
11	300	0	
12	300	0	
13	300	0	
14	300	0	
15	300	0	
16	300	0	
Prom (\widetilde{Lq})=	300	Valor Aceptado ($Lq = \widetilde{Lq} \pm S$) $Lq = (300 \pm 0)$ mm	
Lq mayor =	300		
Lq menor=	300		
$\Delta Lq =$	0		

En este caso para el grupo A y B la incertidumbre de la longitud de carbonización es igual a cero debido a que durante los ensayos de inflamabilidad vertical la llama consumió en su totalidad la longitud de la muestra.

3.7.4.13. Tasa de combustión (Textil Denim)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil antilfluidos.

En la Tabla 78 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 78. Textil Denim - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	47.032	382.718
2	300	47.412	379.651
3	300	34.742	518.105
4	300	32.642	551.437
5	300	33.122	543.445
6	300	43.442	414.346
7	300	42.942	419.170
8	300	36.562	492.314
9	300	37.952	474.283
10	300	42.652	422.020
11	300	37.592	478.825
12	300	35.942	500.807
13	300	37.822	475.913
14	300	43.282	415.877
15	300	40.192	447.850
16	300	45.722	393.684
Promedio =	300	39.94	456.903

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 456.903 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 79 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 79. Textil Denim - Cálculo de la tasa de combustión – grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	46.392	387.998
2	300	40.602	443.328
3	300	40.632	443.001
4	300	35.762	503.328
5	300	48.182	373.583
6	300	46.932	383.534
7	300	50.242	358.266
8	300	38.682	465.333
9	300	46.922	383.615
10	300	41.222	436.660
11	300	40.682	442.456
12	300	50.542	356.139
13	300	46.862	384.107
14	300	48.312	372.578
15	300	44.142	407.775
16	300	46.542	386.747
Promedio =	300	44.54	408.028

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 408.028 \text{ mm / min.}$$

3.7.4.14. Validación del método mediane software especializado (Textil Denim)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración del grupo A y B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

En la Tabla 80 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 80. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Denim.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Denim					
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	382.718	387.998	551.437	474.283	419.17
2	379.651	443.328	543.445	465.333	415.877
3	518.105	443.001	518.105	447.85	414.346
4	551.437	503.328	503.328	443.328	407.775
5	543.445	373.583	500.807	443.001	393.684
6	414.346	383.534	492.314	442.456	387.998
7	419.170	358.266	478.825	436.66	386.747
8	492.314	465.333	475.913	422.02	384.107
9	474.283	383.615	474.283	419.17	383.615
10	422.020	436.660	465.333	415.877	383.534
11	478.825	442.456	447.85	414.346	382.718
12	500.807	356.139	443.328	407.775	379.651
13	475.913	384.107	443.001	393.684	373.583
14	415.877	372.578	442.456	387.998	372.578
15	447.850	407.775	436.66	386.747	358.266
16	393.684	386.747	422.02	384.107	356.139

3.7.4.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Denim)

En la Fig. 32 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Denim - Transversal)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	25.531	2.78
Repetibilidad	25.531	2.78
Reproducibilidad	0.000	0.00
Parte a parte	892.968	97.22
Variación total	918.499	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	5.0528	30.317	16.67
Repetibilidad	5.0528	30.317	16.67
Reproducibilidad	0.0000	0.000	0.00
Parte a parte	29.8826	179.295	98.60
Variación total	30.3067	181.840	100.00

Figura 32. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Denim.

3.7.4.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Denim)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para muestras transversales para el textil denim es de 2.78%, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio" para muestras transversales para el textil denim es de 16.67% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de "Parte a parte" se encuentra entre el 97.22% y el 98.60%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.



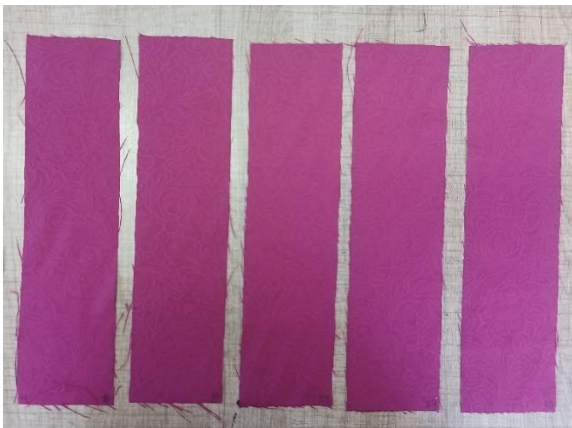
3.7.5. Ensayos de inflamabilidad – Textil Poliéster Troquelado

- Se tomaron 64 muestras de las cuales 32 fueron cortadas de forma longitudinal (en dirección a los hilos de urdiembre) y los 32 restantes fueron cortadas de forma transversal (en dirección a los hilos de trama).
- Las muestras fueron divididas en dos grupos (grupo A y grupo B) donde a cada grupo le corresponde 16 muestras longitudinales y 16 transversales.
- El tiempo de ensayo por cada grupo fue de 1 día por lo que el ensayo de las 64 muestras se las realizó en un periodo de dos días.
- El acondicionamiento de las muestras del textil poliéster troquelado se las realizó por un periodo mínimo de 24 horas, a una temperatura de 24 ± 2 °C y a una humedad relativa de 55 ± 5 %, según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles (ANEXO 3) a la cual hace referencia la Norma ASTM D6413.
- El ensayo de inflamabilidad vertical se desarrolló de acuerdo con el procedimiento establecido en el Instructivo de Ensayo de Inflamabilidad Vertical (I-LIM- IEIV), el cual se encuentra en los archivos del Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA y por motivos de confidencialidad no puede ser publicado.

3.7.5.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Poliéster Troquelado)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de urdiembre. A continuación, en la Tabla 81 se puede observar los datos generales de ensayo del textil denim, con dirección de las fibras longitudinales.

Tabla 81. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.


 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA</p> 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Poliéster Troquelado	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Vino	Color reverso:	Vino		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	24 ± 2	Humedad relativa (%):	55 ± 5
Dirección de las fibras:	Longitudinal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		
Código de ensayo:	EIV-07	Fecha de ensayo:	29/06/2023		
Fotografía del Textil Poliéster Troquelado antes del ensayo de inflamabilidad.					
					

Durante el desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical en el textil poliéster troquelado se registraron los tiempos de post- inflamación, post- incandescencia, fusión o goteo y longitud de carbonización, todos estos son requerimientos establecidos por la Norma ASTM D6413, en la Tabla 82 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo A.

Tabla 82. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado - longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Poliéster Troquelado				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal- Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	8.75	0	142.74	Si
2	11.26	0	162.32	Si
3	6.88	0	170.34	Si
4	5.48	0	158.17	Si
5	8.73	0	165.02	Si
6	8.83	0	169.13	Si
7	9.86	0	183.32	Si
8	13.21	0	177.13	Si
9	11.03	0	186.82	Si
10	9.36	0	175.93	Si
11	7.11	0	166.74	Si
12	3.58	0	170.77	Si
13	5.6	0	177.93	Si
14	11.9	0	187.57	Si
15	11.66	0	151.87	Si
16	7.41	0	183.09	Si

Tabla 82. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado – longitudinal (continuación).

Fotografía del Textil Poliéster Troquelado después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical	
	
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia. - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. 	

En la Tabla 83 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo B.

Tabla 83. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Poliéster Troquelado - longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Poliéster Troquelado				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	5.74	0	165.15	Si
2	5.05	0	155.16	Si
3	7.22	0	133.9	Si
4	10.63	0	159.78	Si
5	3.95	0	135.92	Si
6	3.97	0	144.97	Si
7	13.36	0	178.23	Si
8	7.47	0	143.29	Si

Tabla 83. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Poliéster Troquelado – longitudinal (continuación).

9	11.89	0	145.64	Si
10	9.01	0	167.97	Si
11	4.36	0	123.34	Si
12	11.77	0	161.63	Si
13	6.36	0	143.7	Si
14	10.13	0	167.13	Si
15	10.72	0	137	Si
16	10.76	0	151.09	Si

Fotografía del Textil Poliéster Troquelado después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical



Observaciones:

- Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia.
- Todas las muestras presentaron fusión o goteo.

3.7.5.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado)

Las correcciones de las mediciones se las realizó mediante los ANEXOS 6 y 7 donde se muestran los certificados de calibración de los instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical, dichos instrumentos se detallan a continuación en la Tabla 84.

Tabla 84. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.

Instrumentos de Medición		
Objeto	Marca	Código
Cronómetro	Sper Scientific	DP-60CR01-D
Regla	Fénix	IM-30RL02-A

La calibración de los instrumentos de medición fue realizada por el Laboratorio de Calibración Acreditado ELICROM. En los certificados de calibración se detallan los errores de medición de acuerdo con el tiempo y distancia registrados.

En las Tablas 85 y 86 se observan las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados.

Tabla 85. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones longitudinales grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Poliéster Troquelado					
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0	8.744	0	142.74
2	0.006	0	11.254	0	162.32
3	0.006	0	6.874	0	170.34
4	0.006	0	5.474	0	158.17
5	0.006	0	8.724	0	165.02
6	0.006	0	8.824	0	169.13
7	0.006	0	9.854	0	183.32
8	0.006	0	13.204	0	177.13
9	0.006	0	11.024	0	186.82
10	0.006	0	9.354	0	175.93
11	0.006	0	7.104	0	166.74
12	0.006	0	3.574	0	170.77

Tabla 85. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones longitudinales grupo A (continuación).

13	0.006	0	5.594	0	177.93
14	0.006	0	11.894	0	187.57
15	0.006	0	11.654	0	151.87
16	0.006	0	7.404	0	183.09
Promedio =			8.785	0	170.556

Tabla 86. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones longitudinales grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Poliéster Troquelado					
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo B		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0	9.374	0	174.23
2	0.006	0	6.624	0	161.79
3	0.006	0	5.434	0	168.43
4	0.006	0	6.914	0	159.28
5	0.006	0	7.074	0	155.98
6	0.006	0	6.114	0	167.08
7	0.006	0	8.294	0	169.12
8	0.006	0	6.804	0	161.03
9	0.006	0	8.884	0	159.91
10	0.006	0	6.854	0	163.89
11	0.006	0	5.884	0	163.21
12	0.006	0	11.684	0	158.12
13	0.006	0	9.534	0	165.48
14	0.006	0	3.464	0	161.12
15	0.006	0	10.414	0	161.53
16	0.006	0	5.974	0	145.7
Promedio =			7.458	0	162.243

3.7.5.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Poliéster Troquelado)

A continuación, en las Tablas 87 y 88 se pueden observar la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo A y B.

Tabla 87. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post-inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Poliéster			
Dirección de las fibras de las muestras:			Longitudinal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	8.744	0.0017	2.667
2	11.254	6.0978	
3	6.874	3.6505	
4	5.474	10.9602	
5	8.724	0.0037	
6	8.824	0.0016	
7	9.854	1.1436	
8	13.204	19.5309	
9	11.024	5.0148	
10	9.354	0.3242	
11	7.104	2.8245	
12	3.574	27.1506	
13	5.594	10.1801	
14	11.894	9.6682	
15	11.654	8.2333	
16	7.404	1.9061	
Promedio (\bar{t})=	8.785	Valor aceptado $t = \bar{t} \pm S$ $t = (8.79 \pm 2.67) s$	
t mayor =	13.204		
t menor=	3.574		
$\Delta t =$	4.815		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo A es de 2.67 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo A es de:

$$t = (8.79 \pm 2.67) \text{ s.}$$

Tabla 88. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- incandescencia (s) – Textil Poliéster			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	9.374	3.6720	2.094
2	6.624	0.6951	
3	5.434	4.0956	
4	6.914	0.2957	
5	7.074	0.1473	
6	6.114	1.8057	
7	8.294	0.6993	
8	6.804	0.4274	
9	8.884	2.0342	
10	6.854	0.3645	
11	5.884	2.4767	
12	11.684	17.8612	
13	9.534	4.3108	
14	3.464	15.9500	
15	10.414	8.7394	
16	5.974	2.2015	
Promedio (\bar{t})=	7.458	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (7.46 \pm 2.1) \text{ s}$	
t mayor =	11.684		
t menor =	3.464		
$\Delta t =$	4.11		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo B es de 2.1 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (7.46 \pm 2.1) \text{ s.}$$

3.7.5.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Poliéster Troquelado)

Las muestras tanto para el grupo A como para el grupo B no presentaron resplandor residual por lo tanto el tiempo de post incandescencia registrado es igual a cero.

3.7.5.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización.

A continuación, en la Tabla 89 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A.

Tabla 89. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	142.74	773.7090	12.628
2	162.32	67.8255	
3	170.34	0.0465	
4	158.17	153.4037	
5	165.02	30.6431	
6	169.13	2.0324	

Tabla 89. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A (continuación).

7	183.32	162.9293	
8	177.13	43.2224	
9	186.82	264.5299	
10	175.93	28.8839	
11	166.74	14.5590	
12	170.77	0.0460	
13	177.93	54.3814	
14	187.57	289.4890	
15	151.87	349.1526	
16	183.09	157.1106	
Prom (\widetilde{Lq})=	170.556	Valor Aceptado ($Lq = \widetilde{Lq} \pm S$) $Lq = (170.56 \pm 12.63)$ mm	
Lq mayor =	187.57		
Lq menor=	142.74		
$\Delta Lq =$	22.415		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras longitudinales del grupo A es:

$$S = 12.63 \text{ mm.}$$

- El valor aceptado para la longitud de carbonización para muestras longitudinales del grupo A es de:

$$Lq = (170.56 \pm 12.63) \text{ mm.}$$

En la Tabla 90 se observa los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondientes a las muestras longitudinales del Grupo B, donde la longitud mayor de carbonización fue de 174.23 mm y la longitud de carbonización menor fue de 145.7 mm y un promedio igual a:

$$\widetilde{Lq} = 162.24 \text{ mm}$$

Tabla 90. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la Incertidumbre de la Longitud de Carbonización – Grupo B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \widetilde{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{Lq})^2}{n - 1}}$
1	174.23	143.6702	6.3997
2	161.79	0.2059	
3	168.43	38.2697	
4	159.28	8.7838	
5	155.98	39.2346	
6	167.08	23.3893	
7	169.12	47.2828	
8	161.03	1.4732	
9	159.91	5.4464	
10	163.89	2.7101	
11	163.21	0.9336	
12	158.12	17.0053	
13	165.48	10.4733	
14	161.12	1.2628	
15	161.53	0.5094	
16	145.7	273.6957	
Prom (\widetilde{Lq})=	162.244	Valor Aceptado ($Lq = \widetilde{Lq} \pm S$) $Lq = (162.24 \pm 6.4)$ mm	
Lq mayor =	174.23		
Lq menor=	145.7		
$\Delta Lq =$	14.265		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras longitudinales del grupo B es de 6.4 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para muestras longitudinales del grupo B es de:

$$Lq = (162.24 \pm 6.4) \text{ mm.}$$

3.7.5.6. Tasa de combustión (Textil Poliéster Troquelado)

En la Tabla 91 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 91. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	142.74	8.744	979.4602
2	162.32	11.254	865.3990
3	170.34	6.874	1486.8199
4	158.17	5.474	1733.6865
5	165.02	8.724	1134.9381
6	169.13	8.824	1150.0227
7	183.32	9.854	1116.2168
8	177.13	13.204	804.8925
9	186.82	11.024	1016.7997
10	175.93	9.354	1128.4798
11	166.74	7.104	1408.2770
12	170.77	3.574	2866.8719
13	177.93	5.594	1908.4376
14	187.57	11.894	946.2082
15	151.87	11.654	781.8946
16	183.09	7.404	1483.7115
Promedio =	170.556	8.785	1300.7572

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 1300.76 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 92 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 92. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	174.23	9.374	1115.1910
2	161.79	6.624	1465.4891
3	168.43	5.434	1859.7350
4	159.28	6.914	1382.2389
5	155.98	7.074	1322.9856
6	167.08	6.114	1639.6467
7	169.12	8.294	1223.4386
8	161.03	6.804	1420.0176
9	159.91	8.884	1079.9865
10	163.89	6.854	1434.6951
11	163.21	5.884	1664.2760
12	158.12	11.684	811.9822
13	165.48	9.534	1041.4097
14	161.12	3.464	2790.7621
15	161.53	10.414	930.6510
16	145.7	5.974	1463.3411
Promedio =	162.2438	7.4578	1415.3654

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 1415.37 \text{ mm / min.}$$

3.7.5.7. Validación del método mediana software especializado (Textil Poliéster Troquelado)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

A continuación, en la Tabla 93 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 93. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Poliéster Troquelado.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Poliéster Troquelado					
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	979.4602	1115.1910	2866.8719	1483.7115	1223.4386
2	865.3990	1465.4891	2790.7621	1465.4891	1150.0227
3	1486.8199	1859.7350	1908.4376	1463.3411	1134.9381
4	1733.6865	1382.2389	1859.735	1434.6951	1128.4798
5	1134.9381	1322.9856	1733.6865	1420.0176	1116.2168
6	1150.0227	1639.6467	1664.276	1408.277	1115.191
7	1116.2168	1223.4386	1639.6467	1382.2389	1079.9865
8	804.8925	1420.0176	1486.8199	1322.9856	1041.4097
9	1016.7997	1079.9865	1483.7115	1223.4386	1016.7997
10	1128.4798	1434.6951	1465.4891	1150.0227	979.4602
11	1408.2770	1664.2760	1463.3411	1134.9381	946.2082
12	2866.8719	811.9822	1434.6951	1128.4798	930.651
13	1908.4376	1041.4097	1420.0176	1116.2168	865.399
14	946.2082	2790.7621	1408.277	1115.191	811.9822
15	781.8946	930.6510	1382.2389	1079.9865	804.8925
16	1483.7115	1463.3411	1322.9856	1041.4097	781.8946

3.7.5.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Poliéster Troquelado)

En la Fig. 33 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Poliester Troquelado)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	732.6	2.28
Repetibilidad	732.6	2.28
Reproducibilidad	0.0	0.00
Parte a parte	31341.5	97.72
Variación total	32074.2	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	27.067	162.40	15.11
Repetibilidad	27.067	162.40	15.11
Reproducibilidad	0.000	0.00	0.00
Parte a parte	177.035	1062.21	98.85
Variación total	179.093	1074.56	100.00

Figura 33. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Poliéster Troquelado.

3.7.5.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Poliéster Troquelado)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para

muestras longitudinales para el textil poliéster troquelado es de 2.28%, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio" para muestras longitudinales para el textil poliéster troquelado es de 15.11% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de "Parte a parte" se encuentra entre el 97.72% y el 98.85%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.7.5.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Poliéster Troquelado)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de trama. A continuación, en la Tabla 94 se puede observar los datos generales de ensayo del textil poliéster troquelado con dirección de las fibras transversales.

Tabla 94. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.



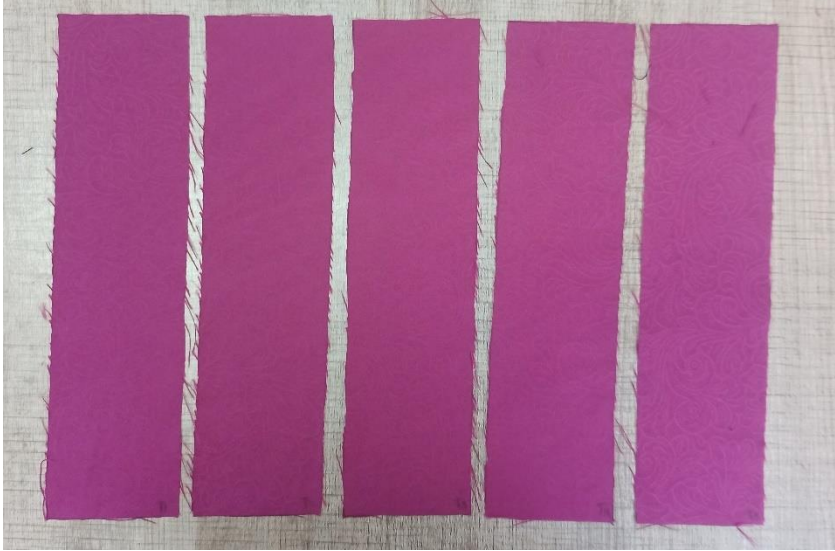
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Poliéster Troquelado	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Vino	Color reverso:	Vino		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	48	Temperatura (°C):	24 ± 2	Humedad relativa (%):	55 ± 5

Tabla 94. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical – transversal
(continuación).

Dirección de las fibras:	Transversal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.
Código de ensayo:	EIV-08	Fecha de ensayo:	30/06/2023
Fotografía del Textil Poliéster Troquelado antes del ensayo de inflamabilidad.			
			

A continuación, en la Tabla 95 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo A.

Tabla 95. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado transversal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Poliéster Troquelado				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	9.27	0	140.54	Si
2	8.59	0	161.9	Si
3	10.74	0	159.26	Si
4	8.53	0	168.04	Si
5	8.86	0	157.61	Si

Tabla 95. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado transversal (continuación).

6	3.25	0	166.18	Si
7	6.63	0	170.52	Si
8	6.57	0	152.85	Si
9	2.26	0	171.81	Si
10	4	0	155.86	Si
11	9.44	0	174	Si
12	6.89	0	156.72	Si
13	9.13	0	163.88	Si
14	6.86	0	136.19	Si
15	7.46	0	170.05	Si
16	7.45	0	167.27	Si

Fotografía del Textil Poliéster Troquelado después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical




Observaciones:

- Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia.
- Todas las muestras presentaron fusión o goteo.

En la Tabla 96 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 96. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Poliéster Troquelado

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Poliéster Troquelado				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	5.74	0	165.15	Si
2	5.05	0	155.16	Si
3	7.22	0	133.9	Si
4	10.63	0	159.78	Si
5	3.95	0	135.92	Si
6	3.97	0	144.97	Si
7	13.36	0	178.23	Si
8	7.47	0	143.29	Si
9	11.89	0	145.64	Si
10	9.01	0	167.97	Si
11	4.36	0	123.34	Si
12	11.77	0	161.63	Si
13	6.36	0	143.7	Si
14	10.13	0	167.13	Si
15	10.72	0	137	Si
16	10.76	0	151.09	Si
Fotografía del Textil Poliéster Troquelado después del Ensayo de Inflamabilidad				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó tiempo de post- incandescencia. - Todas las muestras presentaron fusión o goteo. 				

3.7.5.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado)

En la Tabla 97 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales de acuerdo con los factores de corrección tomados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 97. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones transversales grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Poliéster Troquelado					
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo A		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0	9.264	0	140.54
2	0.006	0	8.584	0	161.9
3	0.006	0	10.734	0	159.26
4	0.006	0	8.524	0	168.04
5	0.006	0	8.854	0	157.61
6	0.006	0	3.244	0	166.18
7	0.006	0	6.624	0	170.52
8	0.006	0	6.564	0	152.85
9	0.006	0	2.254	0	171.81
10	0.006	0	3.994	0	155.86
11	0.006	0	9.434	0	174
12	0.006	0	6.884	0	156.72
13	0.006	0	9.124	0	163.88
14	0.006	0	6.854	0	136.19
15	0.006	0	7.454	0	170.05
16	0.006	0	7.444	0	167.27
Promedio =			7.239	0	160.8

En la Tabla 98 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 98. Textil Poliéster Troquelado - Corrección de las mediciones transversales grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Poliéster Troquelado					
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo B		
No	Factor de corrección		Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronómetro (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0	5.734	0	165.15
2	0.006	0	5.044	0	155.16
3	0.006	0	7.214	0	133.9
4	0.006	0	10.624	0	159.78
5	0.006	0	3.944	0	135.92
6	0.006	0	3.964	0	144.97
7	0.006	0	13.354	0	178.23
8	0.006	0	7.464	0	143.29
9	0.006	0	11.884	0	145.64
10	0.006	0	9.004	0	167.97
11	0.006	0	4.354	0	123.34
12	0.006	0	11.764	0	161.63
13	0.006	0	6.354	0	143.7
14	0.006	0	10.124	0	167.13
15	0.006	0	10.714	0	137
16	0.006	0	10.754	0	151.09
Promedio =			8.2684	0	150.8688

3.7.5.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Poliéster Troquelado)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación.

A continuación, en la Tabla 99 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 99. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post-inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	9.264	4.0981	2.3564
2	8.584	1.8073	
3	10.734	12.2107	
4	8.524	1.6496	
5	8.854	2.6062	
6	3.244	15.9650	
7	6.624	0.3790	
8	6.564	0.4565	
9	2.254	24.8565	
10	3.994	10.5341	
11	9.434	4.8153	
12	6.884	0.1265	
13	9.124	3.5509	
14	6.854	0.1487	
15	7.454	0.0460	
16	7.444	0.0418	
Promedio (\bar{t})=	7.2396	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (7.24 \pm 2.36) \text{ s}$	
t mayor =	10.734		
t menor=	2.254		
$\Delta t =$	4.24		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo A es de 2.36 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo A fue de:

$$t = (7.24 \pm 2.36) \text{ s.}$$

En la Tabla 100 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo B.

Tabla 100. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post-inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- inflamación (s) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	5.734	6.4231	3.1373
2	5.044	10.3966	
3	7.214	1.1117	
4	10.624	5.5490	
5	3.944	18.7002	
6	3.964	18.5276	
7	13.354	25.8636	
8	7.464	0.6470	
9	11.884	13.0727	
10	9.004	0.5411	
11	4.354	15.3223	
12	11.764	12.2194	
13	6.354	3.6648	
14	10.124	3.4433	
15	10.714	5.9811	
16	10.754	6.1783	
Promedio (\bar{t})=	8.2684	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (8.27 \pm 3.13) \text{ s}$	
t mayor =	13.354		
t menor =	3.944		
$\Delta t =$	4.705		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo B es de 3.13 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo B fue de:

$$t = (8.26 \pm 3.13) \text{ s.}$$

3.7.5.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Poliéster Troquelado)

Las muestras tanto para el grupo A como para el grupo B no presentaron resplandor residual por lo tanto el tiempo de post incandescencia registrado es igual a cero.

3.7.5.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Poliéster Troquelado)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización para muestras transversales.

A continuación, en las Tablas 101 y 102 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A y B respectivamente.

Tabla 101. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	140.54	410.1638	10.778
2	161.9	1.2266	
3	159.26	2.3486	
4	168.04	52.5263	
5	157.61	10.1283	
6	166.18	29.0252	
7	170.52	94.6243	

Tabla 101. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A (continuación).

8	152.85	63.0833	
9	171.81	121.3853	
10	155.86	24.3296	
11	174	174.4381	
12	156.72	16.5853	
13	163.88	9.5327	
14	136.19	605.2830	
15	170.05	85.7013	
16	167.27	41.9580	
Prom (\bar{Lq}) =	160.8	Valor Aceptado ($Lq = \bar{Lq} \pm S$) $Lq = (160.8 \pm 10.8)$ mm	
Lq mayor =	174		
Lq menor =	136.19		
$\Delta Lq =$	18.905		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras transversales del grupo A fue de 10.8 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para muestras transversales del grupo A fue de:

$$Lq = (160.8 \pm 10.8) \text{ mm.}$$

Tabla 102. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{Lq})^2}{n - 1}}$
1	165.15	203.9541	
2	155.16	18.4148	
3	133.9	287.9385	

Tabla 102. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo B (continuación).

4	159.78	79.4104	14.957
5	135.92	223.4651	
6	144.97	34.7953	
7	178.23	748.6380	
8	143.29	57.4375	
9	145.64	27.3398	
10	167.97	292.4528	
11	123.34	757.8321	
12	161.63	115.8045	
13	143.7	51.3910	
14	167.13	264.4283	
15	137	192.3422	
16	151.09	0.0490	
Prom (\bar{L}_q)=	150.869	Valor Aceptado ($L_q = \bar{L}_q \pm S$) $L_q = (150.87 \pm 14.96)$ mm	
Lq mayor =	178.23		
Lq menor=	123.34		
$\Delta L_q =$	27.45		

- El valor de la incertidumbre de la longitud de carbonización calculada para muestras transversales del grupo B fue de 14.96 mm.
- El valor aceptado para la longitud de carbonización para muestras transversales del grupo B fue de:

$$L_q = (150.87 \pm 14.96) \text{ mm.}$$

3.7.5.13. Tasa de combustión (Textil Poliéster Troquelado)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil poliéster troquelado.

En la Tabla 103 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 103. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	140.54	9.264	910.2332
2	161.9	8.584	1131.6403
3	159.26	10.734	890.2180
4	168.04	8.524	1182.8250
5	157.61	8.854	1068.0596
6	166.18	3.244	3073.6128
7	170.52	6.624	1544.5652
8	152.85	6.564	1397.1664
9	171.81	2.254	4573.4694
10	155.86	3.994	2341.4121
11	174	9.434	1106.6356
12	156.72	6.884	1365.9500
13	163.88	9.124	1077.6852
14	136.19	6.854	1192.2089
15	170.05	7.454	1368.7953
16	167.27	7.444	1348.2268
Promedio =	160.8	7.24	1598.3

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 1598.3 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 104 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 104. Textil Poliéster Troquelado - Cálculo de la tasa de combustión - grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Poliéster Troquelado			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	165.15	5.734	1728.1130
2	155.16	5.044	1845.6780
3	133.9	7.214	1113.6679
4	159.78	10.624	902.3720
5	135.92	3.944	2067.7485
6	144.97	3.964	2194.2987
7	178.23	13.354	800.7938
8	143.29	7.464	1151.8489
9	145.64	11.884	735.3080
10	167.97	9.004	1119.3025
11	123.34	4.354	1699.6785
12	161.63	11.764	824.3625
13	143.7	6.354	1356.9405
14	167.13	10.124	990.4978
15	137	10.714	767.2205
16	151.09	10.754	842.9794
Promedio =	150.869	8.27	1258.8

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 1258.8 \text{ mm / min.}$$

3.7.5.14. Validación del método mediante software especializado (Textil Poliéster Troquelado)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos

destruictivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

A continuación, en la Tabla 105 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 105. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Poliéster Troquelado.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Poliéster Troquelado					
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	910.2332	1728.1130	4573.4694	1544.5652	1151.8489
2	1131.6403	1845.6780	3073.6128	1397.1664	1131.6403
3	890.2180	1113.6679	2341.4121	1368.7953	1119.3025
4	1182.8250	902.3720	2194.2987	1365.95	1113.6679
5	1068.0596	2067.7485	2067.7485	1356.9405	1106.6356
6	3073.6128	2194.2987	1845.678	1348.2268	1077.6852
7	1544.5652	800.7938	1728.113	1192.2089	1068.0596
8	1397.1664	1151.8489	1699.6785	1182.825	990.4978
9	4573.4694	735.3080	1544.5652	1151.8489	910.2332
10	2341.4121	1119.3025	1397.1664	1131.6403	902.372
11	1106.6356	1699.6785	1368.7953	1119.3025	890.218
12	1365.9500	824.3625	1365.95	1113.6679	842.9794
13	1077.6852	1356.9405	1356.9405	1106.6356	824.3625
14	1192.2089	990.4978	1348.2268	1077.6852	800.7938
15	1368.7953	767.2205	1192.2089	1068.0596	767.2205
16	1348.2268	842.9794	1182.825	990.4978	735.308

3.7.5.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Poliéster Troquelado)

En la Fig. 34 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Poliester Troquelado - Transv)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	1824.5	6.74
Repetibilidad	1824.5	6.74
Reproducibilidad	0.0	0.00
Parte a parte	25244.0	93.26
Variación total	27068.6	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	42.715	256.288	25.96
Repetibilidad	42.715	256.288	25.96
Reproducibilidad	0.000	0.000	0.00
Parte a parte	158.884	953.302	96.57
Variación total	164.525	987.152	100.00

Figura 34. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Poliéster Troquelado.

3.7.5.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Poliéster Troquelado)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para

muestras transversales para el textil poliéster troquelado es de 6.74%, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio" para muestras transversales para el textil poliéster troquelado es de 25.96% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de "Parte a parte" se encuentra entre el 93.26% y el 96.57%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.7.6. Ensayos de inflamabilidad – Textil Algodón

- Se tomaron 64 muestras de las cuales 32 fueron cortadas de forma longitudinal (en dirección a los hilos de urdiembre) y los 32 restantes fueron cortadas de forma transversal (en dirección a los hilos de trama).
- Las muestras fueron divididas en dos grupos (grupo A y grupo B) donde a cada grupo le corresponde 16 muestras longitudinales y 16 transversales.
- El tiempo de ensayo por cada grupo fue de 1 día por lo que el ensayo de las 64 muestras se las realizó en un periodo de dos días.
- El acondicionamiento de las muestras del textil algodón se las realizó por un periodo mínimo de 24 horas, a una temperatura de 21 ± 1 °C y a una humedad relativa de 65 ± 2 %, según la Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles (ANEXO 3) a la cual hace referencia la Norma ASTM D6413.
- El ensayo de inflamabilidad vertical se desarrolló de acuerdo con el procedimiento establecido en el Instructivo de Ensayo de Inflamabilidad Vertical (I-LIM- IEIV), el cual se encuentra en los archivos del Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA y por motivos de confidencialidad no puede ser publicado.

3.7.6.1. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras longitudinales (Textil Algodón)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de urdiembre. A continuación, en la Tabla 106 se puede observar los datos generales de ensayo del textil algodón, con dirección de las fibras longitudinales.

Tabla 106. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - longitudinal.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA</p> 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Algodón	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Verde	Color reverso:	Verde		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	21 ± 1	Humedad relativa (%):	65 ± 2
Dirección de las fibras:	Longitudinal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		
Código de ensayo:	EIV-09	Fecha de ensayo:	05/07/2023		
Fotografía del Textil Algodón antes del ensayo de inflamabilidad.					
					


Durante el desarrollo de los ensayos de inflamabilidad vertical en el textil algodón se registraron los tiempos de post- inflamación, post- incandescencia, fusión o goteo y longitud de carbonización, todos estos son requerimientos establecidos por la Norma ASTM D6413 (Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles – Vertical Test).

En la Tabla 107 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo A.

Tabla 107. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Algodón - longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Algodón				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal- Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	38.79	3	300	No
2	34.58	3.38	300	No
3	38.53	2.1	300	No
4	31.37	4.97	300	No
5	36.81	1.03	300	No
6	32.73	3.76	300	No
7	32.39	2.37	300	No
8	31.3	3.25	300	No
9	26.93	3.12	300	No
10	28.56	0.75	300	No
11	34.55	3.6	300	No
12	32.63	1.6	300	No
13	30.74	2.94	300	No
14	31.36	3.91	300	No
15	38.34	4.43	300	No
16	32.31	2.77	300	No

Tabla 107. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Algodón - longitudinal (continuación).

Fotografía del Textil Algodón después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical	
	
Observaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo. - En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm. 	

En la Tabla 108 se puede observar los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical para las muestras con dirección de las fibras longitudinales correspondientes al Grupo B.

Tabla 108. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Algodón - longitudinal.

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Algodón				
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	34.25	3.58	300	No
2	29.88	4.24	300	No
3	38.67	3.16	300	No
4	32.2	4.12	300	No
5	34.89	0.98	300	No
6	35.56	2.96	300	No
7	32.28	3.28	300	No

Tabla 108. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical -Textil Algodón longitudinal (continuación).

8	34.79	4.13	300	No
9	27.77	7.01	300	No
10	31.53	6.08	300	No
11	38.61	4.32	300	No
12	31.22	3.56	300	No
13	34	4.8	300	No
14	29.17	3.16	300	No
15	33.45	4.72	300	No
16	27.08	3.96	300	No

Fotografía del Textil Algodón después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical



Observaciones:

- Ninguna de las muestras presento fusión o goteo.
- En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm.

3.7.6.2. Corrección de las medidas de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Algodón)

Las correcciones de las mediciones se las realizó mediante los ANEXOS 6 y 7 donde se muestran los certificados de calibración de los instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical, dichos instrumentos se detallan a continuación en la Tabla 109.

Tabla 109. Instrumentos de medición utilizados durante el ensayo de inflamabilidad vertical.

Instrumentos de Medición		
Objeto	Marca	Código
Cronómetro	Sper Scientific	DP-60CR01-D
Regla	Fénix	IM-30RL02-A

La calibración de los instrumentos de medición fue realizada por el Laboratorio de Calibración Acreditado ELICROM. En los certificados de calibración se detallan los errores de medición de acuerdo con el tiempo y distancia registrados.

En la Tabla 110 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados para el grupo A.

Tabla 110. Textil Algodón - Corrección de las mediciones longitudinales - grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Algodón						
Dirección de las fibras de las muestras:				Longitudinal – Grupo A		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0.006	0	38.792	2.994	300
2	-0.002	0.006	0	34.582	3.374	300
3	-0.002	0.006	0	38.532	2.094	300
4	-0.002	0.006	0	31.372	4.964	300
5	-0.002	0.006	0	36.812	1.024	300
6	-0.002	0.006	0	32.732	3.754	300
7	-0.002	0.006	0	32.392	2.364	300
8	-0.002	0.006	0	31.302	3.244	300
9	0.006	0.006	0	26.924	3.114	300
10	0.006	0.006	0	28.554	0.744	300
11	-0.002	0.006	0	34.552	3.594	300
12	-0.002	0.006	0	32.632	1.594	300
13	-0.002	0.006	0	30.742	2.934	300

Tabla 110. Textil Algodón - Corrección de las mediciones longitudinales - grupo A
(continuación).

14	-0.002	0.006	0	31.362	3.904	300
15	-0.002	0.006	0	38.342	4.424	300
16	-0.002	0.006	0	32.312	2.764	300
Promedio =				33.346	2.93	300

En la Tabla 111 se observa las mediciones corregidas para las direcciones longitudinales de acuerdo con los factores de corrección utilizados para el grupo B.

Tabla 111. Textil Algodón - Corrección de las mediciones longitudinales - grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Algodón						
Dirección de las fibras de las muestras:				Longitudinal – Grupo B		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	-0.002	0.006	0	34.252	3.574	300
2	0.006	0.006	0	29.874	4.234	300
3	-0.002	0.006	0	38.672	3.154	300
4	-0.002	0.006	0	32.202	4.114	300
5	-0.002	0.006	0	34.892	0.974	300
6	-0.002	0.006	0	35.562	2.954	300
7	-0.002	0.006	0	32.282	3.274	300
8	-0.002	0.006	0	34.792	4.124	300
9	0.006	0.006	0	27.764	7.004	300
10	-0.002	0.006	0	31.532	6.074	300
11	-0.002	0.006	0	38.612	4.314	300
12	-0.002	0.006	0	31.222	3.554	300
13	-0.002	0.006	0	34.002	4.794	300
14	0.006	0.006	0	29.164	3.154	300
15	-0.002	0.006	0	33.452	4.714	300
16	-0.002	0.006	0	27.082	3.954	300
Promedio =				32.835	3.997	300

3.6.6.3. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Algodón)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación. En la Tabla 112 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 112. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	38.792	30.758	3.4853
2	34.582	1.785	
3	38.532	27.942	
4	31.372	3.512	
5	36.812	12.716	
6	32.732	0.264	
7	32.392	0.729	
8	31.302	3.779	
9	26.924	39.968	
10	28.554	22.015	
11	34.552	1.706	
12	32.632	0.377	
13	30.742	6.270	
14	31.362	3.549	
15	38.342	25.969	
16	32.312	0.872	
Promedio (\bar{t})=	33.246	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (33.25 \pm 3.49) \text{ s.}$	
t mayor =	38.792		
t menor=	26.924		
$\Delta t =$	5.934		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo A es de 3.49 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo A es de: $t = (33.35 \pm 3.49)$ s.

Tabla 113. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- inflamación (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	34.252	2.008	3.3936
2	29.874	8.767	
3	38.672	34.072	
4	32.202	0.401	
5	34.892	4.232	
6	35.562	7.437	
7	32.282	0.306	
8	34.792	3.830	
9	27.764	25.714	
10	31.532	1.697	
11	38.612	33.375	
12	31.222	2.601	
13	34.002	1.362	
14	29.164	13.475	
15	33.452	0.381	
16	27.082	33.096	
Promedio (\bar{t})=	32.835	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (32.84 \pm 3.4)$ s.	
t mayor =	38.672		
t menor =	27.082		
$\Delta t =$	5.795		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo B es de 3.4 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (32.84 \pm 3.4) \text{ s.}$$

3.7.6.4. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Algodón)

La incertidumbre del tiempo de post – incandescencia se calculó mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas al inicio de este capítulo.

A continuación, en la Tabla 114 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 114. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	2.994	0.004	1.1551
2	3.374	0.197	
3	2.094	0.699	
4	4.964	4.136	
5	1.024	3.634	
6	3.754	0.679	
7	2.364	0.321	
8	3.244	0.098	
9	3.114	0.034	
10	0.744	4.780	
11	3.594	0.441	
12	1.594	1.786	
13	2.934	0.000	
14	3.904	0.948	

Tabla 114. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A (continuación).

15	4.424	2.231	
16	2.764	0.028	
Promedio (\bar{t})=	2.93	$\text{Valor}_{\text{aceptado}} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (2.93 \pm 1.16) \text{ s.}$	
t mayor =	4.964		
t menor=	0.744		
$\Delta t =$	2.11		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo A es de 1.16 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo A es de:

$$t = (2.93 \pm 1.16) \text{ s.}$$

En la Tabla 115 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 115. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	3.574	0.180	1.3475
2	4.234	0.056	
3	3.154	0.712	
4	4.114	0.014	
5	0.974	9.143	
6	2.954	1.089	
7	3.274	0.524	

Tabla 115. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B (continuación).

8	4.124	0.016	
9	7.004	9.038	
10	6.074	4.311	
11	4.314	0.100	
12	3.554	0.197	
13	4.794	0.634	
14	3.154	0.712	
15	4.714	0.513	
16	3.954	0.002	
Promedio (\bar{t})=	3.998	$Valor_{aceptado} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (4 \pm 1.35) \text{ s}$	
t mayor =	7.004		
t menor=	0.974		
$\Delta t =$	3.015		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo B es de 1.35 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras longitudinales del grupo B es de:

$$t = (4 \pm 1.35) \text{ s.}$$

3.7.6.5. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Algodón)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización.

A continuación, en la Tabla 116 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A y B.

Tabla 116. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Denim			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A y B	
No	x_i	$(x_i - \widetilde{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{Lq})^2}{n - 1}}$
1	300	0	0
2	300	0	
3	300	0	
4	300	0	
5	300	0	
6	300	0	
7	300	0	
8	300	0	
9	300	0	
10	300	0	
11	300	0	
12	300	0	
13	300	0	
14	300	0	
15	300	0	
16	300	0	
Prom $(\widetilde{Lq})=$	300	Valor Aceptado $(Lq = \widetilde{Lq} \pm S)$ $Lq = (300 \pm 0) \text{ mm}$	
Lq mayor =	300		
Lq menor =	300		
$\Delta Lq =$	0		

En este caso para el grupo A y B la incertidumbre de la longitud de carbonización es igual a cero debido a que durante los ensayos de inflamabilidad vertical la llama consumió en su totalidad la longitud de la muestra.

3.7.6.6. Tasa de combustión (Textil Algodón)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil denim.

En la Tabla 117 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras longitudinales del grupo A.

Tabla 117. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	38.792	464.013
2	300	34.582	520.502
3	300	38.532	467.144
4	300	31.372	573.760
5	300	36.812	488.971
6	300	32.732	549.921
7	300	32.392	555.693
8	300	31.302	575.043
9	300	26.924	668.549
10	300	28.554	630.385
11	300	34.552	520.954
12	300	32.632	551.606
13	300	30.742	585.518
14	300	31.362	573.943
15	300	38.342	469.459
16	300	32.312	557.069
Promedio =	300	33.246	547.033

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 547.033 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 118 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 118. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	34.252	525.517
2	300	29.874	602.531
3	300	38.672	465.453
4	300	32.202	558.971
5	300	34.892	515.878
6	300	35.562	506.158
7	300	32.282	557.586
8	300	34.792	517.360
9	300	27.764	648.322
10	300	31.532	570.849
11	300	38.612	466.176
12	300	31.222	576.517
13	300	34.002	529.381
14	300	29.164	617.199
15	300	33.452	538.084
16	300	27.082	664.648
Promedio =	300	32.835	553.789

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras longitudinales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 553.8 \text{ mm / min.}$$

3.7.6.7. Validación del método mediante software especializado (Textil Algodón)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

A continuación, en la Tabla 119 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 119. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Algodón

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Algodón					
Dirección de las fibras de la muestra:			Longitudinal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	464.013	525.517	668.549	575.043	551.606
2	520.502	602.531	664.648	573.943	549.921
3	467.144	465.453	648.322	573.760	538.084
4	573.760	558.971	630.385	570.849	529.381
5	488.971	515.878	617.199	558.971	525.517
6	549.921	506.158	602.531	557.586	520.954
7	555.693	557.586	585.518	557.069	520.502
8	575.043	517.360	576.517	555.693	517.360
9	668.549	648.322	575.043	551.606	515.878
10	630.385	570.849	573.943	549.921	506.158
11	520.954	466.176	573.760	538.084	488.971
12	551.606	576.517	570.849	529.381	469.459
13	585.518	529.381	558.971	525.517	467.144
14	573.943	617.199	557.586	520.954	466.176
15	469.459	538.084	557.069	520.502	465.453
16	557.069	664.648	555.693	517.360	464.013

3.7.6.7.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Algodón)

En la Fig. 35 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

Validación del Método (Textil Algodón - Longitudinal)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	7.673	1.50
Repetibilidad	7.673	1.50
Reproducibilidad	0.000	0.00
Parte a parte	505.340	98.50
Variación total	513.013	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	2.7701	16.620	12.23
Repetibilidad	2.7701	16.620	12.23
Reproducibilidad	0.0000	0.000	0.00
Parte a parte	22.4798	134.879	99.25
Variación total	22.6498	135.899	100.00

Figura 35. Resultados obtenidos mediante software especializado - Textil Algodón.

3.7.6.7.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Algodón)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para muestras longitudinales para el textil algodón es de 1.50 %, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio"

para muestras longitudinales para el textil algodón es de 12.23% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de “Parte a parte” se encuentra entre el 98.50% y el 99.25%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.7.6.8. Ensayos de inflamabilidad vertical sobre muestras transversales (Textil Algodón)

Se prepararon muestras de (300 x 76) mm de acuerdo con lo establecido por la Norma ASTM D6413, las cuales fueron cortadas en dirección a los hilos de trama. A continuación, en la Tabla 120 se puede observar los datos generales de ensayo del textil algodón con dirección de las fibras transversales.

Tabla 120. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical - transversal.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA 					
Datos generales de ensayo de inflamabilidad vertical					
Alcance de la muestra:	Norma ASTM D6413 – Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)				
Nombre del material:	Textil Algodón	Número de muestras:	32		
Color anverso:	Verde	Color reverso:	Verde		
Dimensión (mm):	300 x 76	Tipo de cámara de inflamabilidad:	Vertical		
Tiempo de acondicionamiento (H):	24	Temperatura (°C):	21 ± 1	Humedad relativa (%):	65 ± 2
Dirección de las fibras:	Transversal	Tiempo de exposición a la llama:	12 seg.		
Código de ensayo:	EIV- 10	Fecha de ensayo:	06/07/2023		

Tabla 120. Datos generales del ensayo de inflamabilidad vertical – transversal
(continuación).




A continuación, en la Tabla 121 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo A.

Tabla 121. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Algodón.


Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Algodón				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	28.94	7.62	300	No
2	37.12	2	300	No
3	32.33	0.97	300	No
4	33.12	2.26	300	No
5	35.89	2.58	300	No
6	33.74	3.16	300	No
7	27.96	2.33	300	No
8	26.34	4.18	300	No
9	28.27	5.83	300	No

Tabla 121. Datos del ensayo de inflamabilidad vertical - Textil Algodón
(continuación).

10	33.86	1.04	300	No
11	32.31	3.5	300	No
12	36.39	3.62	300	No
13	30.65	4.96	300	No
14	31.76	3.52	300	No
15	32.43	4.42	300	No
16	35.23	3.25	300	No
Fotografía del Textil Algodón después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo. - En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm. 				

A continuación, en la Tabla 122 se observa los datos obtenidos después del ensayo de inflamabilidad vertical con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 122.Datos del ensayo de inflamabilidad vertical- Textil Algodón

Datos del Ensayo de Inflamabilidad Vertical – Textil Algodón				
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo B	
No	Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)	Fusión o goteo
1	28.06	1.9	300	No
2	33.98	1.67	300	No
3	33.43	2.71	300	No
4	32.53	7.4	300	No
5	32.79	2.53	300	No
6	40.6	1.26	300	No
7	25.65	4.99	300	No
8	28.27	5.61	300	No
9	30.93	4.42	300	No
10	34	4.69	300	No
11	30.67	2.65	300	No
12	40	0	300	No
13	35.48	2.72	300	No
14	35.86	4.32	300	No
15	37.75	1.61	300	No
16	36.47	4.62	300	No
Fotografía del Textil Algodón después del Ensayo de Inflamabilidad Vertical				
				
Observaciones:				
<ul style="list-style-type: none"> - Ninguna de las muestras presentó fusión o goteo. - En todas las muestras la llama consumió por completo la longitud total de la muestra, siendo la longitud de carbonización igual a 300 mm. 				

3.7.6.9. Corrección de las mediciones de post- inflamación, post- incandescencia y longitud de carbonización (Textil Algodón)

En la Tabla 123 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales de acuerdo con los factores de corrección tomados de los ANEXOS 6 y 7.

Tabla 123. Textil Algodón - Corrección de las mediciones transversales – grupo A.

Corrección de las Mediciones – Textil Algodón						
Dirección de las fibras de las muestras:				Transversales – Grupo A		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0.006	0	28.934	7.614	300
2	-0.002	0.006	0	37.122	1.994	300
3	-0.002	0.006	0	32.332	0.964	300
4	-0.002	0.006	0	33.122	2.254	300
5	-0.002	0.006	0	35.892	2.574	300
6	-0.002	0.006	0	33.742	3.154	300
7	0.006	0.006	0	27.954	2.324	300
8	0.006	0.006	0	26.334	4.174	300
9	0.006	0.006	0	28.264	5.824	300
10	-0.002	0.006	0	33.862	1.034	300
11	-0.002	0.006	0	32.312	3.494	300
12	-0.002	0.006	0	36.392	3.614	300
13	-0.002	0.006	0	30.652	4.954	300
14	-0.002	0.006	0	31.762	3.514	300
15	-0.002	0.006	0	32.432	4.414	300
16	-0.002	0.006	0	35.232	3.244	300
Promedio =				32.271	3.447	300

En la Tabla 124 se observa las mediciones corregidas para las muestras con dirección de las fibras transversales correspondientes al grupo B.

Tabla 124. Textil Algodón - Corrección de las mediciones transversales – Grupo B.

Corrección de las Mediciones – Textil Algodón						
Dirección de las fibras de las muestras:				Transversal – Grupo B		
No	Factor de corrección			Tiempo de post-inflamación (s)	Tiempo de post-incandescencia (s)	Longitud de carbonización (mm)
	Cronóm.1 (s)	Cronóm.2 (s)	Regla (mm)			
1	0.006	0.006	0	28.054	1.894	300
2	-0.002	0.006	0	33.982	1.664	300
3	-0.002	0.006	0	33.432	2.704	300
4	-0.002	0.006	0	32.532	7.394	300
5	-0.002	0.006	0	32.792	2.524	300
6	-0.002	0.006	0	40.602	1.254	300
7	0.006	0.006	0	25.644	4.984	300
8	0.006	0.006	0	28.264	5.604	300
9	-0.002	0.006	0	30.932	4.414	300
10	-0.002	0.006	0	34.002	4.684	300
11	-0.002	0.006	0	30.672	2.644	300
12	-0.002	0.006	0	40.002	-0.006	300
13	-0.002	0.006	0	35.482	2.714	300
14	-0.002	0.006	0	35.862	4.314	300
15	-0.002	0.006	0	37.752	1.604	300
16	-0.002	0.006	0	36.472	4.614	300
Promedio =				33.53	3.313	300

3.7.6.10. Incertidumbre del tiempo de post-inflamación (Textil Algodón)

Mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas, se realizó el cálculo de la incertidumbre del tiempo de post- inflamación.

A continuación, en la Tabla 125 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 125. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Inflamación (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	28.934	11.137	3.1812
2	37.122	23.530	
3	32.332	0.004	
4	33.122	0.724	
5	35.892	13.110	
6	33.742	2.163	
7	27.954	18.639	
8	26.334	35.251	
9	28.264	16.058	
10	33.862	2.530	
11	32.312	0.002	
12	36.392	16.981	
13	30.652	2.622	
14	31.762	0.259	
15	32.432	0.026	
16	35.232	8.766	
Promedio(\bar{t})=	32.271	Valor_{aceptado} $t = \bar{t} \pm S$ $t = (32.27 \pm 3.18) \text{ s.}$	
t mayor =	37.122		
t menor=	26334		
$\Delta t =$	5.394		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo A es de 3.18 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo A es de:

$$t = (32.27 \pm 3.18) \text{ s.}$$

A continuación, en la Tabla 126 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo B.

Tabla 126. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – inflamación – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- inflamación (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	28.054	29.985	4.198
2	33.982	0.204	
3	33.432	0.010	
4	32.532	0.996	
5	32.792	0.544	
6	40.602	50.015	
7	25.644	62.187	
8	28.264	27.729	
9	30.932	6.749	
10	34.002	0.223	
11	30.672	8.167	
12	40.002	41.888	
13	35.482	3.811	
14	35.862	5.439	
15	37.752	17.826	
16	36.472	8.656	
Promedio (\bar{t})=	33.53	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (33.53 \pm 4.2) \text{ s.}$	
t mayor =	40.602		
t menor =	25.664		
$\Delta t =$	7.479		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – inflamación para muestras transversales del grupo B es de 4.2 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – inflamación para las muestras transversales del grupo B es de:

$$t = (33.53 \pm 4.2) \text{ s.}$$

3.7.6.11. Incertidumbre del tiempo de post- incandescencia (Textil Algodón)

La incertidumbre del tiempo de post – incandescencia se calculó mediante las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 ya antes mencionadas en este capítulo.

En la Tabla 127 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 127. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:			Transversal – Grupo A
No	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$
1	7.614	17.368	1.722
2	1.994	2.110	
3	0.964	6.163	
4	2.254	1.422	
5	2.574	0.761	
6	3.154	0.086	
7	2.324	1.260	
8	4.174	0.529	
9	5.824	5.653	
10	1.034	5.820	
11	3.494	0.002	
12	3.614	0.028	
13	4.954	2.273	
14	3.514	0.005	

Tabla 127. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo A (continuación).

15	4.414	0.936	
16	3.244	0.041	
Promedio (\bar{t})=	3.45	$\text{Valor}_{\text{aceptado}} \quad t = \bar{t} \pm S$ $t = (3.45 \pm 1.72) \text{ s}$	
t mayor =	7.614		
t menor=	0.964		
$\Delta t =$	3.325		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo A es de 1.72 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo A es de:

$$t = (3.45 \pm 1.72) \text{ s.}$$

En la Tabla 128 se puede observar la incertidumbre obtenida para las muestras transversales del grupo B.

Tabla 128. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B.

Incertidumbre del Tiempo de Post- Incandescencia (s) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	x_i	$(x_i - \bar{t})^2$	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{t})^2}{n - 1}}$
1	1.894	2.013	1.918
2	1.664	2.718	
3	2.704	0.371	
4	7.394	16.657	
5	2.524	0.622	
6	1.254	4.238	

Tabla 128. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre del tiempo de post – incandescencia – grupo B (continuación).

7	4.984	2.793	
8	5.604	5.250	
9	4.414	1.213	
10	4.684	1.880	
11	2.644	0.447	
12	1.604	11.014	
13	2.714	0.359	
14	4.314	1.003	
15	1.604	2.920	
16	4.614	1.693	
Promedio (\bar{t})=	3.313	<i>Valor aceptado</i> $t = \bar{t} \pm S$ $t = (3.31 \pm 1.92) \text{ s}$	
t mayor =	7.394		
t menor=	1.604		
$\Delta t =$	3.7		

- El valor de la incertidumbre calculada para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo B es de 1.92 s.
- El valor aceptado para el tiempo de post – incandescencia para muestras transversales del grupo B es de:

$$t = (3.31 \pm 1.92) \text{ s.}$$

3.7.6.12. Incertidumbre de la longitud de carbonización (Textil Algodón)

Mediante las ecuaciones 11, 12, 13 y 14 se realizó el cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización para muestras transversales.

A continuación, en la Tabla 129 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización correspondiente al grupo A y B.

Tabla 129. Textil Algodón - Cálculo de la incertidumbre de la longitud de carbonización – grupo A y B.

Incertidumbre de la longitud de carbonización (mm) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Longitudinal – Grupo A y B	
No	x_i	$(x_i - \widetilde{Lq})^2$	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \widetilde{Lq})^2}{n - 1}}$
1	300	0	0
2	300	0	
3	300	0	
4	300	0	
5	300	0	
6	300	0	
7	300	0	
8	300	0	
9	300	0	
10	300	0	
11	300	0	
12	300	0	
13	300	0	
14	300	0	
15	300	0	
16	300	0	
Prom (\widetilde{Lq})=	300	Valor Aceptado ($Lq = \widetilde{Lq} \pm S$) $Lq = (300 \pm 0)$ mm	
Lq mayor =	300		
Lq menor=	300		
$\Delta Lq =$	0		

En este caso para el grupo A y B la incertidumbre de la longitud de carbonización es igual a cero debido a que durante los ensayos de inflamabilidad vertical la llama consumió en su totalidad la longitud de la muestra.

3.7.6.13. Tasa de combustión (Textil Algodón)

Mediante la ecuación 15 se determinó la tasa de combustión para el textil algodón.

En la Tabla 130 se observa la tasa de combustión obtenida para las muestras transversales del grupo A.

Tabla 130. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – grupo A.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo A	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	28.934	622.105
2	300	37.122	484.888
3	300	32.332	556.724
4	300	33.122	543.445
5	300	35.892	501.505
6	300	33.742	533.460
7	300	27.954	643.915
8	300	26.334	683.527
9	300	28.264	636.853
10	300	33.862	531.569
11	300	32.312	557.069
12	300	36.392	494.614
13	300	30.652	587.237
14	300	31.762	566.715
15	300	32.432	555.007
16	300	35.232	510.899
Promedio =	300	32.27125	563.096

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo A fue de:

$$B = 563.096 \text{ mm / min.}$$

En la Tabla 131 se presentan los resultados obtenidos del cálculo de la tasa de combustión correspondiente al grupo B.

Tabla 131. Textil Algodón - Cálculo de la tasa de combustión – Grupo B.

Tasa de Combustión (mm/min) – Textil Algodón			
Dirección de las fibras de las muestras:		Transversal – Grupo B	
No	Longitud de carbonización corregida (mm)	Tiempo de post-inflamación corregido (s)	Tasa de combustión (mm/min)
1	300	28.054	641.620
2	300	33.982	529.692
3	300	33.432	538.406
4	300	32.532	553.301
5	300	32.792	548.914
6	300	40.602	443.328
7	300	25.644	701.919
8	300	28.264	636.853
9	300	30.932	581.922
10	300	34.002	529.381
11	300	30.672	586.854
12	300	40.002	449.978
13	300	35.482	507.299
14	300	35.862	501.924
15	300	37.752	476.796
16	300	36.472	493.529
Promedio =	300	33.53	545.107

- El valor promedio de la tasa de combustión obtenida para muestras transversales correspondientes al Grupo B fue de:

$$B = 545.107 \text{ mm / min.}$$

3.7.6.14. Validación del método mediane software especializado (Textil Algodón)

Para la validación del método y el cálculo de la incertidumbre de la tasa de combustión se utilizaron los datos de mayor concentración tanto del grupo A como del grupo B debido a que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, esto genera cierta variación en los datos obtenidos por cada muestra por lo que es recomendable el uso de un software especializado para dichos cálculos.

A continuación, en la Tabla 132 se muestran los datos seleccionados para la validación del método.

Tabla 132. Datos recopilados de la tasa de combustión – Textil Algodón.

Datos recopilados de la Tasa de Combustión – Textil Denim					
Dirección de las fibras de la muestra:			Transversal – Grupo A y B		
No	Tasa de combustión (mm/min)		Datos superiores	Datos de mayor concentración	Datos inferiores
	Grupo A	Grupo B			
1	622.105	641.62	701.919	586.854	543.445
2	484.888	529.692	683.527	581.922	538.406
3	556.724	538.406	643.915	566.715	533.46
4	543.445	553.301	641.62	557.069	531.569
5	501.505	548.914	636.853	556.724	529.692
6	533.46	443.328	636.853	555.007	529.381
7	643.915	701.919	622.105	553.301	510.899
8	683.527	636.853	587.237	548.914	507.299
9	636.853	581.922	586.854	543.445	501.924
10	531.569	529.381	581.922	538.406	501.505
11	557.069	586.854	566.715	533.46	494.614
12	494.614	449.978	557.069	531.569	493.529
13	587.237	507.299	556.724	529.692	484.888
14	566.715	501.924	555.007	529.381	476.796
15	555.007	476.796	553.301	510.899	449.978
16	510.899	493.529	548.914	507.299	443.328

3.7.6.14.1. Validación del método – Resultados obtenidos (Textil Algodón)

En la Fig. 36 se observa los resultados obtenidos mediante el análisis del software especializado.

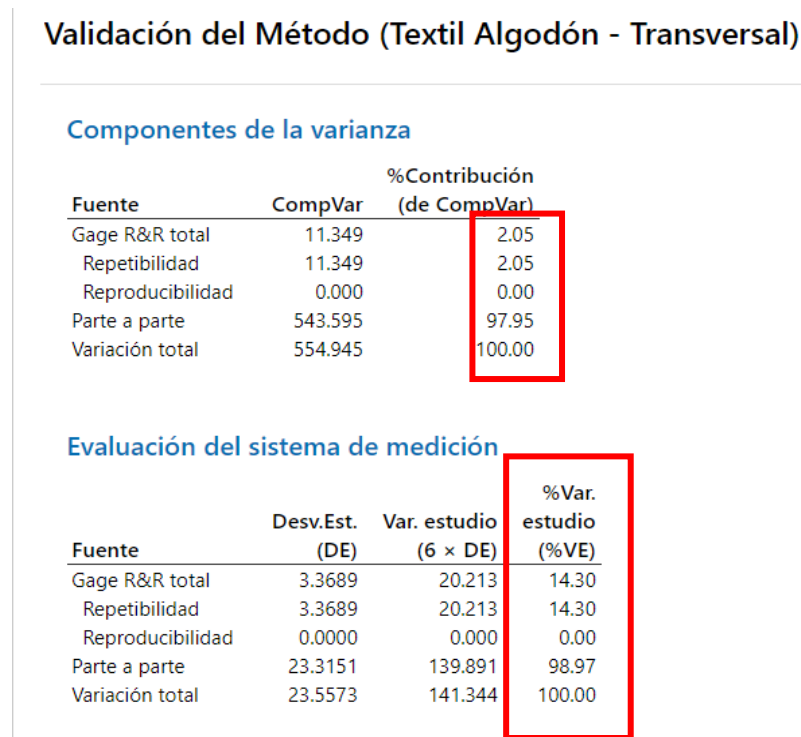


Figura 36. Resultados obtenidos mediante software especializado -Textil Algodón.

3.7.6.14.2. Validación del método – Interpretación de resultados (Textil Algodón)

En base a las recomendaciones propuestas por el manual de la AIAG, donde se establecen los criterios de aceptación de los Componentes de la Varianza (Fig. 24) y la Evaluación del Sistema de Medición (Fig. 23), los resultados se interpretan de la siguiente manera:

- El porcentaje de contribución con respecto al Gage R&R total es aceptable cuando el porcentaje de los componentes de la varianza se encuentra entre el 1% y 9%. De acuerdo con el resultado obtenido el “% de Contribución” para muestras transversales para el textil algodón es de 2.05%, por lo tanto, el sistema de medición es ACEPTABLE.
- La Variación del Estudio con respecto a Gage R&R total es aceptable cuando se encuentra entre un 10% y 30% de variación del sistema del proceso. De

acuerdo con el resultado obtenido de la variación del estudio "% Var. estudio" para muestras transversales para el textil algodón es de 14.30% y por lo tanto el sistema de medición es ACEPTABLE.

- La reproducibilidad es cero ya que los ensayos de inflamabilidad realizados son considerados como ensayos destructivos, por tal razón las muestras utilizadas no se pueden volver a ensayar, ni obtener resultados similares.
- El porcentaje de "Parte a parte" se encuentra entre el 97.95% y el 98.97%, debido a esto el sistema de medición se encuentra en la capacidad de diferenciar cada una de las partes analizadas de forma confiable.

3.8. Resumen de resultados

La Tabla 133 muestra un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de inflamabilidad vertical en materiales textiles, cuyos resultados hacen referencia al promedio de los datos de mayor concentración de la tasa de combustión de cada material.

Tabla 133. Resumen de resultados.

Resumen de resultados		
Material	Tasa de combustión (mm/min)	
	Longitudinal	Transversal
Textil Nomex	0	0
Textil Antifluidos	438.75	506.58
Textil Denim (jean)	453.89	440.47
Textil Poliéster Troquelado	1358.06	1428.55
Textil Algodón	550.41	554.10

A continuación, en la Fig. 37 se pueden observar los resultados obtenidos con respecto a la tasa de combustión. En el caso del textil Nomex presentó una tasa de combustión igual a 0 mm/min, tanto para las muestras longitudinales como para las muestras transversales ya que este material no presentó tiempo de post inflamación ni tiempo de post incandescencia.

Para el textil Antifluidos se obtuvo una tasa de combustión de $B = 438.75$ mm/min para las longitudinales y $B = 506.58$ mm/min para las muestras transversales, siendo estas últimas las de mayor inflamabilidad. Cabe mencionar que ninguna de las muestras presentó tiempo de post – incandescencia pero se observó fusión o goteo.

En el caso del textil Denim se obtuvo una tasa de combustión de $B = 453.89$ mm/min para las muestras longitudinales y $B = 440.47$ mm/min para las muestras transversales siendo las muestras longitudinales las de mayor inflamabilidad. Además, las muestras presentaron una longitud de carbonización igual a 300 mm y se observó fusión o goteo.

El textil Poliéster Troquelado obtuvo una tasa de combustión para las muestras longitudinales de $B = 1358.06$ mm/min, mientras que para las muestras transversales fue de $B = 1428.55$ mm/min, siendo estas últimas las de mayor inflamabilidad. Ninguna de las muestras presentó tiempo de post – incandescencia y se observó la presencia de fusión o goteo.

Con relación al textil Algodón, se registró una tasa de combustión de $B = 550.41$ mm/min para las muestras longitudinales, mientras que para las muestras transversales fue de $B = 554.1$ mm/min, siendo estas las de mayor inflamabilidad. Las muestras presentaron una longitud de carbonización igual a 300 mm y no se logró observar ningún indicio de fusión o goteo.

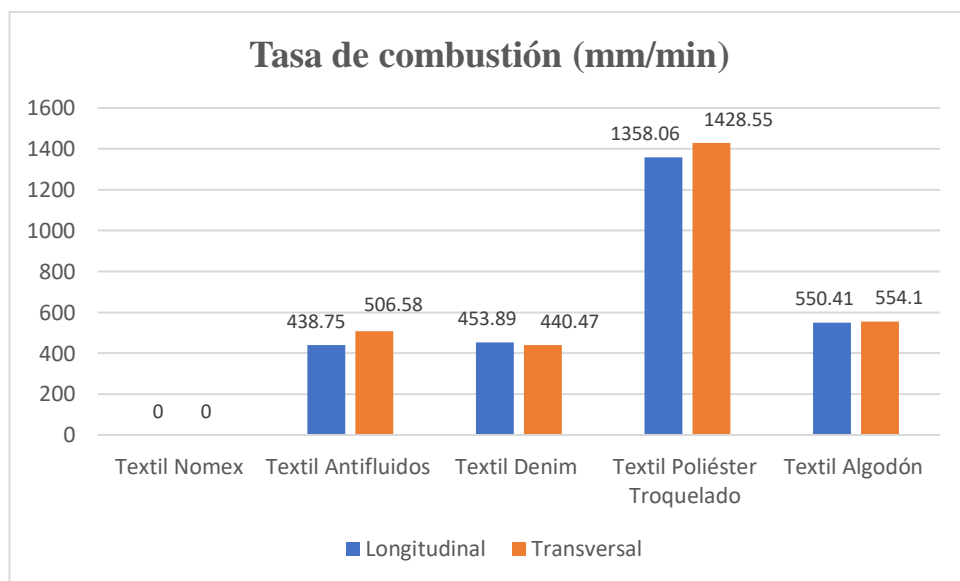


Figura 37. Resumen de resultados.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- A partir de Norma NTE INEN/ISO/IEC 17025-2018 y del procedimiento cero se elaboró el sistema de gestión para el Laboratorio de Investigación Mecánica para Ensayos de Inflamabilidad Vertical para Materiales Textiles, dicho sistema de gestión está compuesto por Documentos, Registros e Instructivos los cuales cumplen con el formato establecido por el laboratorio y con los requisitos relativos a la estructura, relativos a los recursos, requisitos del proceso y requisitos del sistema de gestión los cuales se encuentran establecidos en la norma antes mencionada.
- Se realizó la implementación de los requerimientos técnicos existentes en la Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 en el Laboratorio de Investigación Mecánica LIM-UTA, donde a través del seguimiento adecuado de los procedimientos, registros e instructivos implementados se logra garantizar la eficiencia del laboratorio y la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos de inflamabilidad vertical. Los documentos utilizados para la implementación del sistema de gestión fueron:
 - (R-LIM-SEIV) Solicitud de Ensayo de Inflamabilidad Vertical.
 - (R-LIM-ESC) Encuesta de Satisfacción al Cliente.
 - (R-LIM-SIL) Solicitud de Ingreso al Laboratorio.
 - (R-LIM-SQA) Solicitud de Quejas y Apelaciones.
 - (D-LIM-PM) Procedimiento de muestreo.
 - (D-LIM-PMIEV) Procedimiento de manipulación de los ítems de ensayo vertical.
 - (I-LIM-IEIV) Instructivo Acondicionamiento y Preparación de Muestras.
 - (I-LIM-IEIV) Instructivo de ensayo de inflamabilidad vertical.
 - (R-LIM-RDM) Registro de Datos de Muestreo.
 - (R-LIM-RDTE) Registro de Datos de Ensayo.
 - (R-LIM-RDE) Registro de Ensayos.
 - (R-LIM-RTI) Registro Técnico de Informes.
 - (R-LIM-FIR) Formato de Informe de Resultados.

Los cuales por motivo de confidencialidad se encuentran alojados en los archivos del Laboratorio de Investigación Mecánica LIM – UTA.

- Se desarrolló los ensayos de inflamabilidad vertical de 5 materiales textiles de acuerdo con la Norma ASTM D6413, donde se midió la resistencia de los textiles ante una llama vertical mediante la evaluación de las características de post inflamación y post combustión. A partir del análisis de los resultados obtenidos de los ensayos de inflamabilidad vertical de los materiales textiles se demuestra que el material con una baja resistencia a la llama vertical y una alta tasa de combustión es el textil Poliéster Troquelado, ya que se obtuvo un resultado de $B = 1358.06$ mm/min para las muestras longitudinales y $B = 1428.55$ para las muestras transversales. Sin embargo, los textiles Antifluidos, Denim y Algodón presentaron una resistencia promedio ante una llama vertical y una tasa de combustión media, donde los resultados obtenidos para las muestras longitudinales fueron de $B = 438.75$ mm/min, $B = 453.89$ mm/min y $B = 550.41$ mm/min respectivamente, mientras que para las muestras transversales la tasa de combustión obtenida fue de $B = 506.58$ mm/min, $B = 440.47$ mm/min y $B = 554.1$ mm/min respectivamente. El material con una mayor resistencia a una llama vertical y una baja tasa de combustión fue el Textil Nomex, ya que este no presentó tiempo de post inflamación ni tiempo de post incandescencia por ende su tasa de combustión es igual a $B = 0$ mm/min por lo que se comprueba que este material es un textil ignífugo y auto extingible.
- Se realizó la validación del método mediante el uso de un software especializado donde según los criterios establecidos por la AIAG, “el sistema de medición es aceptable si se encuentra entre 1% y el 30% con respecto a la variación del sistema”, los valores obtenidos para los 5 materiales textiles ensayados se encuentran en un rango entre el 12.23% y el 25.96%, dichos valores se encuentran entre los valores establecidos por la AIAG por lo que el sistema de medición es ACEPTABLE.

4.2. Recomendaciones

- Para próximas versiones de la documentación, se requiere que los documentos que conforman el sistema de gestión sean claros y concisos, los cuales deberán

ser revisados y actualizados con relación a las necesidades del laboratorio y a las actualizaciones de la Norma NTE INEN/ISO/IEC 17025.

- Se recomienda el seguimiento riguroso de los procedimientos, registros e instructivos implementados, manteniendo la eficiencia del laboratorio y asegurando la confiabilidad constante de los resultados obtenidos en los ensayos de inflamabilidad vertical. Además, se sugiere realizar auditorías internas periódicas para verificar la constancia y efectividad de estos procesos.
- Realizar un mantenimiento preventivo a la Cámara de Inflamabilidad Vertical previo a realizar los ensayos de inflamabilidad correspondientes, esto con el fin de evitar contratiempos y alteraciones en los resultados de los ensayos de inflamabilidad.
- Se recomienda utilizar los resultados obtenidos en la validación del método aplicado a los textiles Nomex, Antifluidos y Poliéster Troquelado para procesos de acreditación, ya que estos muestran tasas de combustión alta, media y baja, lo que los convierte en una elección relevante. Además, estos materiales resultan ser convenientes debido a su disponibilidad y asequibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] A. Khandual, T. Grover, Y. Luximon, N. Rout, y R. Nayak, "Instrumentation and objective evaluation of flammability of textiles by video image processing", *J. Text. Inst.*, vol. 111, n.º 8, pp. 1176-1183, ago. 2020, doi: 10.1080/00405000.2019.1691894.
- [2] C. R. Silva de Oliveira, "ACABAMENTO RETARDANTE DE CHAMAS EM TECIDO DE ALGODÃO A PARTIR DA INCORPORAÇÃO DE UM COMPÓSITO NANO-HÍBRIDO CAULINITA-TiO₂ VIA PROCESSO SOLVOTERMAL", bachelorThesis, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA CENTRO TECNOLÓGICO – CTC, FLORIANÓPOLIS, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230873>
- [3] D. G. Rosero Rosero, "Elaboración e implementación de un sistema de gestión del laboratorio de metales y arenas para moldes de fundición de la empresa FUNDIRECICLAR S.A. según las normas NTE INEN ISO/IEC 17025:2018 e ISO/IEC 9001:2015", bachelorThesis, Quito, 2020., Quito, 2020. Accedido: 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20745>
- [4] Asociación de Industrias Textiles del Ecuador, "AITE Industria", *AITE*. <http://www.aite.com.ec/industria.html> (accedido 25 de abril de 2023).
- [5] Sandro, "70% de la Industria Carrocera es Tungurahuese", *Cámara de Industrias de Tungurahua*, 25 de febrero de 2016. <https://camaradeindustriasdetungurahua.wordpress.com/2016/02/24/70-de-la-industria-carrocera-es-tungurahuese/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [6] Bomberos de Guayaquil, "Rendición de Cuentas 2020". 2021. [En línea]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbnmhttps://www.bomberosguayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/2021/04/rendicion-de-cuentas-2020.pdf>
- [7] ECU 911, "En 2022, en Esmeraldas se han reportado 144 emergencias de Gestión de Siniestros; cámaras del ECU 911 captan incendios – Servicio Integrado de

- Seguridad ECU 911", 22 de marzo de 2022. <https://www.ecu911.gob.ec/en-2022-en-esmeraldas-se-han-reportado-144-emergencias-de-gestion-de-siniestros-camaras-del-ecu-911-captan-incendios/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [8] "En 2022, el ECU 911 coordinó la atención de 85 incendios vehiculares a escala nacional – Servicio Integrado de Seguridad ECU 911", 7 de febrero de 2022. <https://www.ecu911.gob.ec/en-2022-el-ecu-911-coordino-la-atencion-de-85-incendios-vehiculares-a-escala-nacional/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [9] GlobalSuite Solutions, "¿Qué son las normas ISO?", *GlobalSuite Solutions*, 7 de septiembre de 2022. <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-son-normas-iso/> (accedido 8 de marzo de 2023).
- [10] C. A. Lasluisa Gómez, "Implementación de los requisitos técnicos que establece la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 con la finalidad de establecer el Laboratorio de investigación de la cámara de inflamabilidad horizontal de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato, 2020. Accedido: 8 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30662>
- [11] S. E. de N. INEN, "NTE INEN-ISO/IEC 17025 “REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN” (ISO/IEC17025:2017, IDT)". 2018.
- [12] ASTM D6413, "Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)". 21 de junio de 2013.
- [13] A. P. Valdivieso-Bonilla, J. C. M. Siluk, y C. de F. Michelin, "Análisis prospectivo estratégico del sector textil productivo ecuatoriano para incrementar la competitividad en las exportaciones", *Rev. Investig. SIGMA*, vol. 9, n.º 02, Art. n.º 02, sep. 2022, doi: 10.24133/sigma.v9i02.2827.
- [14] G. Coba, "Los textileros ecuatorianos aprovechan la crisis logística mundial", *Primicias*, 9 de mayo de 2022.

<https://www.primicias.ec/noticias/economia/exportaciones-salvavidas-sector-textil-ecuador/> (accedido 8 de marzo de 2023).

- [15] K. N. Neira López, "Nuevos métodos para la recuperación de fibras textiles a partir de residuos textiles", bachelorThesis, Fundación Universidad de América, Bogotá D.C., 2022. Accedido: 16 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8959>
- [16] J. L. Villena Portero, "Análisis de la velocidad de combustión y su incidencia en los materiales utilizados en el interior de carrocerías para vehículos", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2019. Accedido: 16 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29190>
- [17] A. Mark, "Conoce los tipos y características de las fibras textiles", *Playeras Mark*, 15 de agosto de 2019. <https://www.playerasmark.com/conoce-los-tipos-y-caracteristicas-de-las-fibras-textiles/> (accedido 16 de marzo de 2023).
- [18] B. T. Flores Zavala, "Caracterización del pigmento presente en el pericarpio del fruto del nogal (Nogalina) como tintura orgánica.", jul. 2021, Accedido: 16 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15533>
- [19] J. A. Sancán Ortiz, "Determinación de los parámetros de la fibra de abacá (Musa Textilis) de las variedades Bungalanón y Tangongón que permita caracterizar la calidad (1-2)", bachelorThesis, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2022. Accedido: 16 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/13359>
- [20] J. L. Fierro Pita, "Elaboración de una guía didáctica virtual de los procesos de hilatura de fibras cortas", bachelorThesis, 2019. Accedido: 19 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9647>
- [21] E. Equipo editorial, "Fuego", <https://humanidades.com/>, 14 de marzo de 2019. <https://humanidades.com/fuego/> (accedido 10 de marzo de 2023).

- [22] S. Albornoz G., J.-P. Chereau M., y S. Araya S., "Guía de Autoinstrucción N 1. El Fuego y los Incendios". 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.anb.cl/documentos_sitio/Guia-Fuego.pdf
- [23] García San Jose, "Combustión y Combustibles". 2001. [En línea]. Disponible en: <https://www.kimerius.com/app/download/5780666669/Combusti%C3%B3n+y+combustibles.pdf>
- [24] BBVA, "Los procesos de combustión y el futuro de los combustibles fósiles", *BBVA NOTICIAS*, 3 de noviembre de 2022. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/los-procesos-de-combustion-y-el-futuro-de-los-combustibles-fosiles/> (accedido 10 de marzo de 2023).
- [25] Arqhys Decoración, "Tipos de combustión", *Portal de arquitectura Arqhys.com*, 30 de agosto de 2019. https://www.arqhys.com/decoracion/tipos_de_combustion.html (accedido 10 de marzo de 2023).
- [26] INGESEG, "¿De qué color es el fuego? - INGESEG Fire Engineering Consulting", *INGESEG*, 9 de junio de 2021. <https://ingeseq.es/color-del-fuego/> (accedido 10 de marzo de 2023).
- [27] Textos Científicos, "Teoría de la llama", *Textos Científicos.com*, 12 de abril de 2019. <https://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-llama> (accedido 12 de marzo de 2023).
- [28] E. F. Pullopaxi Aimacaña, "Implementación de los requisitos técnicos que establece la norma NTE-ISO-IEC 17025-2018 para los ensayos de inflamabilidad de juguetes para los laboratorios de la Carrera Ingeniería Mecánica", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2022. Accedido: 12 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35761>

- [29] Escuela de Bomberos de Santiago, "Temperaturas de ignición, auto-ignición y gasificación", *Escuela de Bomberos de Santiago*, 2019. <http://www.cbsebs.cl/noticia.php?209-documento-tecnico-temperaturas-de-ignicion-auto-ignicion-y-gasificacion> (accedido 12 de marzo de 2023).
- [30] E. Turmo Sierra, "NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad".
- [31] R. A. Martínez Acosta y D. E. Mayorga Mantilla, "Diseño y construcción de una cámara para ensayos de inflamabilidad de juguetes para los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica perteneciente a la Universidad Técnica de Ambato", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2021. Accedido: 12 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/32705>
- [32] Á. O. Chango Guananga, "Automatización de banco de pruebas para ensayos de inflamabilidad de materiales usados en la construcción de interiores de carrocerías", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato, 2019. Accedido: 14 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/29636>
- [33] P. Promam, "Límites de explosividad de una sustancia inflamable", *Promam*, 7 de diciembre de 2017. <https://www.promam.es/limites-de-explosividad-de-una-sustancia-inflamable/> (accedido 14 de marzo de 2023).
- [34] D. F. Pérez Pallo y E. S. Quinatoa Yaucan, "Reingeniería de la cámara de inflamabilidad vertical y aplicación de ensayos de resistencia a la flama de materiales de la industria textil para el Laboratorio de Investigación de Ingeniería Mecánica Lim UTA", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato, 2022. Accedido: 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/35747>

- [35] C. B. Castro Miniguano, "Estudio del comportamiento frente al fuego de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías y su incidencia en la homologación de modelos y competitividad de la empresa carrocera Industria Metálica Cepeda", masterThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Diseño Mecánico, 2014. Accedido: 20 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/6539>
- [36] A. F. Cabrera Valencia, "Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de inflamabilidad vertical de materiales utilizados en el interior de las carrocerías", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, Ambato, 2019. Accedido: 6 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28179>
- [37] M. F. Ballesteros Morales, "Desarrollo en Fabricato S.A. de nuevas telas de protección al fuego espontáneo tejidas con hilos con características ignífugas desde la fibra", 2020, Accedido: 20 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16015>
- [38] J. V. Alonso Felipe, *Manual Control de calidad en productos textiles y afines* (2^a ed.). Madrid: E.T.S.I. Industriales (UPM), 2021. Accedido: 20 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/38763/>
- [39] TexDesign, "8 ventajas de las telas anti-fluidos", *TexDesign*, 9 de septiembre de 2019. <https://texdesigncr.com/8-ventajas-de-las-telas-antifuidos/> (accedido 22 de marzo de 2023).
- [40] H. M. Cisneros Narita, "La sostenibilidad en el sistema de producción del denim en la empresa textil Nuevo mundo durante los 2016 al 2020 en Lima", *Univ. Peru. Cienc. Apl. UPC*, jul. 2020, Accedido: 22 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/660320>
- [41] S. Bernoussi, "Propuesta de un producto compuesto de un poliéster de desechos de fibras textiles en una matriz conglomerante de yeso, y su aplicación a

trasdosados autoportantes", jun. 2021, Accedido: 22 de marzo de 2023. [En línea].
Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/126783>

- [42] M. G. E. Cruz y D. Suárez-Duque, "El sector algodonero en Ecuador: desafíos y oportunidades de la cadena de valor", *Rev. An.*, vol. 1, n.º 377, Art. n.º 377, 2019.
- [43] T. Pastor, "Características del algodón", *Textiles Pastor*, 3 de septiembre de 2019. <http://blogtextilespastor.es/caracteristicas-del-algodon/> (accedido 22 de marzo de 2023).
- [44] E. J. Vallejo Sánchez, "Implementación de los requisitos técnicos que establece la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018 con la finalidad de establecer el laboratorio de investigación de la cámara de inflamabilidad vertical de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato", bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2020. Accedido: 2 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/30659>
- [45] Universidad Técnica de Ambato, "Laboratorio de Investigación Mecánica (LIM-UTA)", *Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica*. <https://ficm.uta.edu.ec/v4.0/index.php/lim-uta-laboratorio-de-investigacion-mecanica/presentacion> (accedido 11 de junio de 2023).
- [46] Automotive Industry Action Group (AIAG), "Measurement Systems Analysis Reference Manual 4th Edition", 2010, Accedido: 28 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/gage-r-r-analyses/is-my-measurement-system-acceptable/#fnsrc_1

ANEXOS

ANEXO 1.- Norma ASTM D6413 Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test).

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D6413/D6413M – 22

Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test)¹

This standard is issued under the fixed designation D6413/D6413M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method is used to measure the vertical flame resistance of textiles.

1.1.1 As a part of the measure of flame resistance, after-flame and afterglow characteristics are evaluated.

1.2 This standard is used to measure and describe the response of materials, products, or assemblies to heat and flame under controlled conditions, but does not by itself incorporate all factors required for fire hazard or fire risk assessment of the materials, products, or assemblies under actual fire conditions.

1.3 Fire testing is inherently hazardous. Adequate safeguards for personnel and property shall be employed in conducting these tests.

1.4 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

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

1.6 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

D123 Terminology Relating to Textiles

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and is the direct responsibility of Subcommittee D13.52 on Flammability.

Current edition approved Aug. 15, 2022. Published November 2022. Originally approved in 1999. Last previous edition approved in 2015 as D6413/D6413M – 15. DOI: 10.1520/D6413_D6413M-22.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

D1776 Practice for Conditioning and Testing Textiles
D3776/D3776M Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric
D4391 Terminology Relating to The Burning Behavior of Textiles
E176 Terminology of Fire Standards
2.2 *ISO Standard*³
ISO 13943 Fire safety

3. Terminology

3.1 *char length—in measuring flame resistance of textiles*, the distance from the fabric edge, which is directly exposed to the flame to the furthest point of visible fabric damage after a specified tearing force has been applied.

3.2 The following terms are relevant to this standard: afterflame, after-flame time, afterglow time, flame application time, melting.

3.3 For terms related to the burning behavior of textiles, see Terminology D4391.

3.4 For terminology related to fire issues other than burning behavior of textiles, see Terminology E176 and ISO 13943. In case of conflict, the terminology in E176 will prevail.

3.5 For other terms related to textiles, see Terminology D123.

4. Summary of Test Method

4.1 A specimen is positioned vertically above a controlled flame and exposed for a specified period of time. The flame then is removed, and afterflame time and afterglow time are measured.

4.2 Char length is measured under a specified force.

4.3 Any evidence of melting or dripping is noted.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the response of textiles to a standard ignition source, deriving measurement values for afterflame time, afterglow time, and char length.

³ Available from International Organization for Standardization (ISO), ISO Central Secretariat, Chemin de Blandonnet 8, CP 401, 1214 Vernier, Geneva, Switzerland, <https://www.iso.org>.

ANEXO 2.- Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025 - Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayos y Calibración (ISO/IEC 17025:2018)



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN-ISO/IEC 17025
Tercera edición
2018-04

**REQUISITOS GENERALES PARA LA COMPETENCIA DE LOS
LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN (ISO/IEC
17025:2017, IDT)**

GENERAL REQUIREMENTS FOR THE COMPETENCE OF TESTING AND CALIBRATION
LABORATORIES (ISO/IEC 17025:2017, IDT)

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adopción idéntica de la traducción oficial de la Norma Internacional ISO/IEC 17025:2017.

ICS: 03.120.20

33 Páginas

© ISO/IEC 2017 – Todos los derechos reservados
© INEN 2018 para la adopción nacional
CON LICENCIA DE USO PARA CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO, H.GOBIERNO PROVINCIAL DE TUNGUI
NUMERO DE ORDEN: 001-005-000086986 / DESCARGADO: 2018-07-05
AUTORIZACION A USUARIO UNICO, PROHIBIDA SU REPRODUCCION

Índice	Página
Prólogo.....	v
Prólogo de la versión en español	vii
Introducción	viii
1 Objeto y campo de aplicación.....	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Términos y definiciones.....	1
4 Requisitos generales	3
4.1 Imparcialidad.....	3
4.2 Confidencialidad.....	4
5 Requisitos relativos a la estructura	4
6 Requisitos relativos a los recursos.....	5
6.1 Generalidades	5
6.2 Personal	6
6.3 Instalaciones y condiciones ambientales.....	6
6.4 Equipamiento	7
6.5 Trazabilidad metrológica.....	9
6.6 Productos y servicios suministrados externamente	10
7 Requisitos del proceso.....	10
7.1 Revisión de solicitudes, ofertas y contratos.....	10
7.2 Selección, verificación y validación de métodos	12
7.2.1 Selección y verificación de métodos.....	12
7.2.2 Validación de los métodos	12
7.3 Muestreo.....	13
7.4 Manipulación de los ítems de ensayo o calibración.....	14
7.5 Registros técnicos	15
7.6 Evaluación de la incertidumbre de medición.....	15
7.7 Aseguramiento de la validez de los resultados.....	16
7.8 Informe de resultados.....	16
7.8.1 Generalidades	16
7.8.2 Requisitos comunes para los Informes (ensayo, calibración o muestreo).....	17
7.8.3 Requisitos específicos para los informes de ensayo	18
7.8.4 Requisitos específicos para los certificados de calibración	18
7.8.5 Información de muestreo – requisitos específicos.....	19
7.8.6 Información sobre declaraciones de conformidad.....	19
7.8.7 Información sobre opiniones e interpretaciones.....	20
7.8.8 Modificaciones a los informes.....	20
7.9 Quejas	20
7.10 Trabajo no conforme	21
7.11 Control de los datos y gestión de la información.....	21
8 Requisitos del sistema de gestión.....	22
8.1 Opciones	22
8.1.1 Generalidades	22
8.1.2 Opción A.....	23
8.1.3 Opción B	23
8.2 Documentación del sistema de gestión (Opción A)	23

ANEXO 3.- Norma ASTM D1776 Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D1776/D1776M – 20

Standard Practice for Conditioning and Testing Textiles¹

This standard is issued under the fixed designation D1776/D1776M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.

1. Scope

1.1 This practice covers the conditioning and testing of textiles when conditioning is specified in a test method. Because prior exposure of textiles to high or low humidity may affect moisture pick-up equilibrium, a procedure also is given for preconditioning the material when required.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system are not necessarily exact equivalents; therefore, to ensure conformance with the standard, each system shall be used independently of the other, and values from the two systems shall not be combined.

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

1.4 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D123 Terminology Relating to Textiles
- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D885 Test Methods for Tire Cords, Tire Cord Fabrics, and Industrial Filament Yarns Made from Manufactured Organic-Base Fibers
- D4920 Terminology Relating to Conditioning, Chemical,

and Thermal Properties

- D5867 Test Methods for Measurement of Physical Properties of Raw Cotton by Cotton Classification Instruments
- D7269 Test Methods for Tensile Testing of Aramid Yarns
- D7744 Test Methods for Tensile Testing of High Performance Polyethylene Tapes
- E337 Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures)
- 2.2 ISO Standard:
 - ISO 139 Textiles Standard Atmosphere for Conditioning and Testing³

3. Terminology

3.1 For terminology related to conditioning see Terminology D4920.

3.2 The following terms are relevant to this standard: accelerated conditioning, moisture content, moisture equilibrium, moisture equilibrium for preconditioning, moisture equilibrium for testing, precondition, standard atmosphere for preconditioning textiles, standard atmosphere for testing textiles, uncertainty of (in) measurement.

3.3 For definitions of other textile terms used in this standard see Terminology D123.

4. Summary of Practice

4.1 Samples or specimens requiring preconditioning are brought to relatively low moisture content in a specified atmosphere. Samples or specimens not requiring preconditioning are brought to moisture equilibrium (specific to fiber-content) according to the standard atmospheres for testing textiles as shown in Table 1.

4.2 Understanding of tolerance and uncertainty of measurement has evolved since the creation of the original version of this standard. Due to this new understanding, uncertainty of measurement has been taken into account in determining acceptable tolerances for the standard atmospheres for testing textiles as shown in Table 1.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and is the direct responsibility of Subcommittee D13.51 on Conditioning, Chemical and Thermal Properties.

Current edition approved Feb. 1, 2020. Published March 2020. Originally approved in 1960. Last previous edition approved in 2016 as D1776/D1776M-16. DOI: 10.1520/D1776_D1776M-20.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute, 11 W. 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036.

ANEXO 4.- Lista de Procedimientos e Instructivos según Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018

- (D-LIM-PC) Procedimiento cero.
- (D-LIM-PPP) Perfiles profesionales del personal.
- (D-LIM-FRP) Funciones y responsabilidades del personal.
- (D-LIM-SFSAP) Seleccionar, formar, supervisar y autorizar al personal.
- (D-LIM-ICA) Instalaciones y condiciones ambientales.
- (D-LIM-PAAL) Procedimiento de acceso, reglas de autorización y uso del laboratorio.
- (D-LIM-FT) Fichas técnicas.
- (D-LIM-RCV) Revision, calibración y verificación de equipos.
- (D-LIM-PSE) Procedimiento de productos y servicios suministrados externamente.
- (D-LIM-PGEV) Procedimiento general de ensayo vertical.
- (D-LIM-PM) Procedimiento de muestreo.
- (I-LIM-IEIV) Instructivo de ensayo de inflamabilidad vertical.
- (I-LIM-APM) Instructivo de Acondicionamiento y Preparación de Muestras.
- (D-LIM-PMIEV) Procedimiento de manipulación de los ítems de ensayo vertical.
- (D-LIM-EIVM) Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre y validación del método.
- (D-LIM-PGQA) Procedimiento de gestión de quejas y apelaciones.
- (D-LIM-PTNC) Procedimiento de trabajo no conforme.
- (D-LIM-PCD) Procedimiento de control de documentos.
- (D-LIM-PCR) Procedimiento de control de registros.
- (D-LIM-PMC) Procedimiento de mejora continua.
- (D-LIM-PAC) Procedimiento de acciones correctivas.
- (D-LIM-PAI) Procedimiento de auditorías internas.
- (D-LIM-PRD) Procedimiento de revisiones por la dirección.

ANEXO 5.- Listado de Registros Técnicos según Norma NTE INEN-ISO/IEC 17025-2018.

- (R-LIM- FIR) Formato de informe de resultados
- (R-LIM-ADP) Autorización del Personal.
- (R-LIM-CC) Carta Compromiso.
- (R-LIM-CDC) Carta de Confidencialidad.
- (R-LIM-CVC) Cronograma de Verificación y Calibración de equipos y herramientas.
- (R-LIM-EDP) Evaluación del Desempeño del Personal.
- (R-LIM-ESC) Encuesta de Satisfacción al Cliente.
- (R-LIM-FCC) Ficha de Control de Calibración.
- (R-LIM-FCD) Ficha Control de Documentos.
- (R-LIM-FVIE) Formato para la Verificación de Instrumentos y Equipos.
- (R-LIM-IAI) Informe de Auditorías Internas.
- (R-LIM-MIDR) Modificación de Informe de Resultados.
- (R-LIM-MSCE) Mantenimiento, Seguimiento y Control de Equipos.
- (R-LIM-RAC) Registro de Acciones Correctivas.
- (R-LIM-RCA) Registro de Condiciones Ambientales.
- (R-LIM-RSP) Registro de Selección de Proveedores.
- (R-LIM-RCE) Registro de Cálculos Estadísticos.
- (R-LIM-RDE) Registro de Ensayos.
- (R-LIM-RDM) Registro de Datos de Muestreo.
- (R-LIM-RDTE) Registro de Datos de Ensayo.
- (R-LIM-RGQA) Registro de Gestión de Quejas y Apelaciones.
- (R-LIM-RMIR) Registro de Modificación de Informe de Resultados.
- (R-LIM-RNC) Registro de No Conformidades.
- (R-LIM-RPD) Registro de Revisiones por la dirección.
- (R-LIM-RTI) Registro Técnico de Informes.
- (R-LIM-SEIV) Solicitud de Ensayo de Inflamabilidad Vertical.
- (R-LIM-SP) Selección de Personal.
- (R-LIM-SPVP) Supervisión del Personal
- (R-LIM-SQA) Solicitud de quejas y apelaciones.

ANEXO 6.- Certificado de Calibración – Cronómetro Sper Scientific.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
Nº CC-2608-018-23



Resultados de la Calibración

Calibration Results

Valor de Prueba <i>Test Value</i>	Indicación Ítem <i>Item Reading</i>	Indicación Patrón <i>Standard Reading</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>	Incertidumbre (U) <i>Uncertainty (U)</i>	Factor de Cobertura (k)
s	s	s	s	s	Coverage factor
5	5,35	5,3440	0,0060	0,0066	2,03
30	30,35	30,3520	-0,0020	0,0066	2,03
60	60,51	60,5089	0,0011	0,0066	2,03
120	120,36	120,3589	0,0011	0,0066	2,03
300	300,40	300,4017	-0,0017	0,0066	2,03
600	600,40	600,3985	0,0035	0,0066	2,03
1200	1200,23	1200,2139	0,0161	0,0066	2,03
1800	1800,23	1800,2154	0,0146	0,0066	2,03
2700	2700,10	2700,0856	0,0144	0,0066	2,03
3600	3600,45	3600,4318	0,0182	0,0066	2,03
5400	5400,53	5400,5031	0,0269	0,0066	2,03
7200	7200,45	7200,4085	0,0435	0,0066	2,03

Nota

Note

La indicación del patrón y el error de medición (mejor estimación del valor verdadero) se muestran con la misma cantidad de decimales que la incertidumbre reportada (véase 7.2.6 de la GUM).

The standard reading and measurement error (best estimate of the true value) are shown to the same number of digits as the reported uncertainty (see GUM 7.2.6).

FO.PEC.06-02 Rev. 08

ANEXO 7.- Certificado de Calibración – Regla Fénix.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Accredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CC-2608-021-23



Resultados de la Calibración

Calibration Results

Valor Nominal <i>Nominal Value</i>	Resultado <i>Result</i>	Error de Medición (e) <i>Measurement Error (e)</i>
cm	cm	cm
1,5	1,4950	-0,0050
3	2,9950	-0,0050
6	6,0000	0,0000
9	9,0000	0,0000
15	15,0000	0,0000
18	18,0000	0,0000
21	21,0050	0,0050
24	24,0050	0,0050
27	27,0000	0,0000
30	30,0000	0,0000

Incertidumbre de Medición: 0,0043 cm
Measurement Uncertainty: 0,0043 cm

Incertidumbre de Medición en μm : 43
Measurement Uncertainty In μm : 43

Notas

Notes

- El resultado de la medición se refiere al valor real obtenido por el sistema de calibración en cada valor nominal.
- El resultado y el error de medición (mejor estimación del valor verdadero) se muestran con la misma cantidad de decimales que la incertidumbre reportada (véase 7.2.6 de la GUM).

- Measurement result refers to the actual value obtained by the calibration system at each nominal value.

- Result and measurement error (best estimate of the true value) are shown with the same number of digits as the reported uncertainty (see GUM 7.2.6).

FO,PEC.37-02 Rev. 11

ANEXO 8.- Lista Maestra de Documentos

		LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN MECÁNICA PARA ENSAYOS DE INFLAMABILIDAD VERTICAL									
		LISTA MAESTRA DE DOCUMENTOS									
		CÓDIGO:	R-UM-LMD	VERSIÓN:	0	FECHA:	04/07/2023	PÁGINA 1 DE 1			
Estado	Código	Versión	Nombre del documento	Estado (V/D/M)	Fecha de aprobación	Fecha de modificación	Fecha de derogación	Tipo de documento		Responsable del documento	
								Físico	Digital		
Recepción y validación	D-UM-SFSAP	0	Seleccionar, formar, supervisar y autorizar al personal.	V	06/07/2023				X		
Desarrollo	D-UM-PC	0	Procedimiento cero	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PPP	0	Perfiles profesionales del personal.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-FRP	0	Funciones y responsabilidades del personal.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-ICA	0	Instalaciones y condiciones ambientales.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PAAL	0	Procedimiento de acceso, reglas de autorización y uso del laboratorio.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-FT	0	Fichas técnicas.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-RCV	0	Revisión, calibración y verificación de equipos.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PSE	0	Procedimiento de productos y servicios suministrados externamente.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PGEV	0	Procedimiento general de ensayo vertical.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PM	0	Procedimiento de muestreo.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PMIEV	0	Procedimiento de manipulación de los ítems de ensayo vertical.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-EIVM	0	Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre y validación del método.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PGQA	0	Procedimiento de gestión de quejas y apelaciones.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PTNC	0	Procedimiento de trabajo no conforme.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PCD	0	Procedimiento de control de documentos.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PCR	0	Procedimiento de control de registros.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PMC	0	Procedimiento de mejora continua.	V	06/07/2023				X		
	D-UM-PAC	0	Procedimiento de acciones correctivas.	V	06/07/2023				X		
D-UM-PAI	0	Procedimiento de auditorías internas.	V	06/07/2023				X			
D-UM-PRD	0	Procedimiento de revisiones por la dirección.	V	06/07/2023				X			
Observaciones:											
Estado:	Vigente	V	Modificado	M	Derrogado	D					

ANEXO 9.- Measurement Systems Analysis Reference Manual - Automotive Industry Action Group (AIAG).

MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS

Reference Manual Fourth Edition

First Edition, October 1990 • Second Edition, February 1995; Second Printing, June 1998
Third Edition, March 2002; Second Printing, May 2003; Fourth Edition, June 2010
Copyright © 1990, © 1995, © 2002, © 2010 Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation
ISBN#: 978-1-60-534211-5

TABLE OF CONTENTS

<i>MSA 4th Edition Quick Guide</i>	iv
TABLE OF CONTENTS	v
List of Tables	vii
List of Figures	viii
CHAPTER I General Measurement System Guidelines	1
Section A Introduction, Purpose and Terminology	3
Introduction	3
Purpose	4
Terminology	4
Section B The Measurement Process <i>P</i>	13
Measurement Systems	13
The Effects of Measurement System Variability.....	18
Section C Measurement Strategy and Planning	25
Section D Measurement Source Development	29
Gage Source Selection Process	31
Section E Measurement Issues	41
Section F Measurement Uncertainty.....	63
Section G Measurement Problem Analysis	65
CHAPTER II General Concepts for Assessing Measurement Systems	67
Section A Background.....	69
Section B Selecting/Developing Test Procedures.....	71
Section C Preparation for a Measurement System Study	73
Section D Analysis of the Results.....	77
CHAPTER III Recommended Practices for Replicable Measurement Systems	81
Section A Example Test Procedures.....	83
Section B Variable Measurement System Study Guidelines	85
Guidelines for Determining Stability.....	85
Guidelines for Determining Bias <i>P</i> – Independent Sample Method	87
Guidelines for Determining Bias – Control Chart Method.....	92
Guidelines for Determining Linearity <i>P</i>	96
Guidelines for Determining Repeatability and Reproducibility <i>P</i>	101
Range Method.....	102
Average and Range Method	103
Analysis of Variance (ANOVA) Method	123
Section C Attribute Measurement Systems Study	131
Risk Analysis Methods.....	131
Signal Detection Approach.....	143
Analytic Method <i>P</i>	145
CHAPTER IV Other Measurement Concepts and Practices	151
Section A Practices for Non-Replicable Measurement Systems	153
Destructive measurement systems	153
Systems where the part changes on use/test	153
Section B Stability Studies	155
Section C Variability Studies.....	161
Section D Recognizing the Effect of Excessive Within-Part Variation.....	167
Section E Average and Range Method – Additional Treatment.....	169
Section F Gage Performance Curve <i>P</i>	177
Section G Reducing Variation Through Multiple Readings	183
Section H Pooled Standard Deviation Approach to <i>GRR P</i>	185
APPENDICES	193

Appendix A	195
Analysis of Variance Concepts.....	195
Appendix B	199
Impact of <i>GRR</i> on the Capability Index <i>C_p</i>	199
Formulas:.....	199
Analysis:.....	199
Graphical Analysis	201
Appendix C	203
Appendix D	205
Gage R Study.....	205
Appendix E	207
Alternate <i>PV</i> Calculation Using Error Correction Term.....	207
Appendix F	209
P.I.S.M.O.E.A. Error Model.....	209
Glossary.....	213
Reference List.....	219
Sample Forms.....	223
Index.....	227

ANEXO 10.- Fotografías del proceso de ensayos de inflamabilidad vertical

1. Preparación de las muestras



2. Acondicionamiento de las muestras



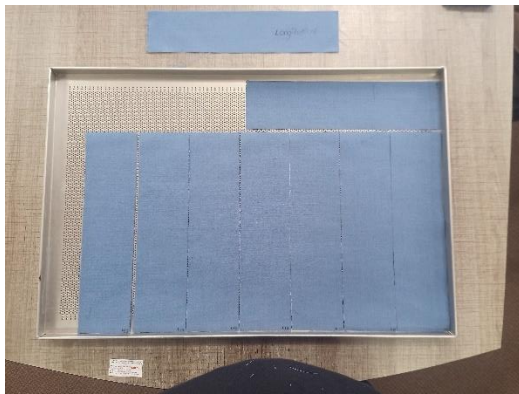
3. Preparación de la cámara de inflamabilidad vertical



4. Calibración de la presión del gas y altura de llama



5. Preparación de la probeta



6. Realización de ensayos de inflamabilidad vertical



7. Probetas después del ensayo de inflamabilidad vertical

