



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE TEXTILES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO TEXTIL

**“EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL DIÉSEL “FÓSIL” EN LA RESISTENCIA A  
LA ABRASIÓN Y TRACCIÓN DE TEJIDOS DENIM 100% ALGODÓN”**



**AUTOR:** Mugmal Iles José Luis

**DIRECTOR:** MSc. Wilson Adrián Herrera Villarreal

Ibarra – Ecuador

**2026**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE NORTE**  
**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

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

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003866280		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Mugmal Iles José Luis		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Esperanza		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:jlmugmali@utn.edu.ec">jlmugmali@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	---	<b>TEL. MÓVIL</b>	0968160214

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Evaluación de la influencia del diésel “fósil” en la resistencia a la abrasión y tracción de tejidos denim 100% algodón.
<b>AUTOR (ES):</b>	Mugmal Iles José Luis
<b>FECHA:</b>	30 de marzo del 2026
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Textil
<b>DIRECTOR:</b>	MSc. Wilson Adrián Herrera Villarreal

## **CONSTANCIA**

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

Ibarra, a los 30 días del mes de marzo del 2026

### **EL AUTOR:**

**Nombre:** Mugmal Iles José Luis

**C.I.** 1003866280

## **CERTIFICACIÓN DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, a los 30 días del mes de marzo del 2026

MSc. Wilson Adrián Herrera Villarreal

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

MSc. Wilson Adrián Herrera Villarreal  
C.C.: 1002868048

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica  
C.C.: 0401732250

## **APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Comité Calificador de Trabajo de Integración Curricular “Evaluación de la influencia del diésel “fósil” en la resistencia a la abrasión y tracción de tejidos denim 100% algodón” elaborado por Mugmal Iles José Luis, previo a la obtención del título de INGENIERO TEXTIL, aprueba el presente informe de investigación en nombre la Universidad Técnica del Norte.

MSc. Wilson Adrián Herrera Villarreal  
C.C.: 1002868048

MSc. Chugá Chamorro Valeria Verónica  
C.C.: 0401732250

## **DEDICATORIA**

*El presente trabajo de titulación lo dedico con todo mi corazón a mis padres José Rigoberto Mugmal y Luz María Iles, quienes han sido un pilar fundamental en cada trayecto de mi vida. Gracias por su apoyo incondicional, por enseñarme a luchar por mis sueños, sobre todo por acompañarme con dedicación en cada paso, cultivando mi deseo de superación y creyendo con firmeza en lo que soy capaz de alcanzar todas mis metas.*

*De manera especial, dedico también este logro a mis queridos abuelitos, sus consejos y sus valores han dejado huellas en mi vida y por haber sembrado en mí la esperanza de alcanzar siempre lo mejor.*

*José Luis Mugmal Iles*

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, agradezco a Dios por la vida, salud y por acompañarme siempre en cada decisión tomada. Gracias por fortalecer mi fe y mantenerme firme en la búsqueda de mis objetivos, permitiendo vivir este momento tan importante de mi vida.*

*A mis padres, quienes han estado a mi lado en cada desafío y logro. Gracias por su amor incondicional, por su tiempo, sus consejos y sabiduría; por impulsarme a crecer, creer en mí y continuar adelante sin rendirme.*

*Al MSc. Wilson Herrera, quien como director de este trabajo de investigación fue un pilar fundamental. Gracias por su apoyo, paciencia y por aclarar cada duda que surgió en el camino.*

*A la Universidad Técnica del Norte, especialmente a la Carrera de Textiles, expreso mi gratitud por la formación que me han brindado. A cada uno de los docentes, gracias por compartir su conocimiento, por transmitir valores y por contribuir de manera significativa a mi crecimiento personal y profesional durante toda esta trayectoria académica.*

*José Luis Mugmal Iles*

## RESUMEN

En los distintos sectores industriales, el uso de elementos de seguridad y de indumentaria adecuada es fundamental para la protección del trabajador. Entre las prendas más empleadas se encuentran aquellas confeccionadas en denim 100% algodón, debido a sus propiedades de resistencia mecánica, confort y transpirabilidad. Sin embargo, en determinados entornos industriales estas prendas pueden entrar en contacto con fluidos como el diésel “fósil”, un hidrocarburo que puede alterar la estructura y el desempeño del tejido textil. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar de manera comparativa el efecto de la exposición al diésel sobre tejidos de denim de 100% algodón de diferentes densidades (12 y 14 oz), así como la influencia del tiempo de exposición en sus propiedades físicas y mecánicas. Para ello, las muestras fueron sometidas a inmersión durante 0, 8, 16 y 24 horas, y posteriormente evaluadas mediante ensayos de resistencia a la abrasión y a la tracción, conforme a las normas internacionales ISO 12947-2 e ISO 13934-2, respectivamente.

Los resultados obtenidos en laboratorio evidencian que, tras 30000 ciclos de frote, los tejidos no presentaron alteraciones estructurales significativas; no obstante, se observó un cambio cromático notable, esto evaluado mediante la norma ISO 105-A02, registrándose un grado 1 en la escala de grises para todas las condiciones analizadas. En cuanto a la resistencia a la tracción las muestras sin exposición presentaron los valores más elevados mientras que la exposición al diésel generó una disminución progresiva de esta propiedad dependiendo tanto del tiempo de inmersión como la densidad del tejido. De manera similar la elongación mostró una reducción tras la exposición al hidrocarburo con variaciones diferenciadas entre los sentidos longitudinales y transversales. Confirmando que el contacto prolongado con el diésel “fósil” afecta negativamente las propiedades mecánicas y estéticas del denim.

**Palabras claves:** Diésel, denim, estabilidad, resistencia al desgaste, abrasión

## ABSTRACT

In various industrial sectors, the use of safety equipment and appropriate clothing is essential for worker protection. Among the most commonly used garments are those made from 100% cotton denim, due to its mechanical strength, comfort, and breathability. However, in certain industrial environments, these garments may come into contact with fluids such as “fossil” diesel, a hydrocarbon that can alter the structure and performance of the textile fabric. In this context, the present study aims to comparatively analyze the effect of diesel exposure on 100% cotton denim fabrics of different densities (12 and 14 oz), as well as the influence of exposure time on their physical and mechanical properties. To this end, the samples were immersed for 0, 8, 16, and 24 hours and then evaluated using abrasion and tensile strength tests, in accordance with international standards ISO 12947-2 and ISO 13934-2, respectively.

The results obtained in the laboratory show that, after 30,000 rub cycles, the fabrics did not show any significant structural alterations; however, a notable color change was observed, as assessed by ISO 105-A02, with a grade of 1 on the gray scale for all conditions analyzed. In terms of tensile strength, the unexposed samples had the highest values, while exposure to diesel fuel caused a progressive decrease in this property, depending on both the immersion time and the density of the fabric. Similarly, elongation showed a reduction after exposure to hydrocarbons, with different variations between the longitudinal and transverse directions. This confirms that prolonged contact with “fossil” diesel negatively affects the mechanical and aesthetic properties of denim.

**Keywords:** Diesel, denim, stability, wear resistance, abrasión, anisotrópico, oleófila.

## **LISTA DE SIGLAS**

**AATCC.** American Association of Textile Chemists and Colorists (Asociación Americana de Químicos y Coloristas Textiles)

**ASTM.** American Society for Testing and Materials (Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales)

**ISO.** International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>El problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Problema de investigación .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>Objetivo general.....</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Formulación del problema de investigación (alcance y delimitación).....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Antecedentes.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Bases teóricas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 Alteraciones Superficiales del Tejido Inducidas por Abrasión .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.2 Daño Anisotrópico por Abrasión en Denim Elástico .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.3 Influencia del Tipo de Ligamento en la Abrasión Textil.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.4 Revestimiento con Nanodiamante para Mejoras Mecánicas .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.5 Revestimientos Oleofóbicos sobre Algodón .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.6 Efecto del Desgaste por Abrasión en Condiciones Húmedas.....</b>	<b>10</b>

<b>2.3</b>	<b>Marco legal .....</b>	<b>11</b>
2.3.1	Constitución de la República del Ecuador .....	11
2.3.2	Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte.....	12
<b>2.4</b>	<b>Marco conceptual.....</b>	<b>12</b>
2.4.1	Hidrocarburo.....	12
2.4.2	Diésel “fósil” .....	12
2.4.3	Tejido denim industrial.....	14
	Gramaje de tejido denim.....	14
2.4.4	Algodón .....	15
2.4.5	Resistencia mecánica .....	15
2.4.6	Ensayos físicos normalizados .....	15
	Resistencia a la abrasión – método Martindale (ISO 12947-2).....	16
	Resistencia a la tracción – método de agarre (ISO 13934-2).....	16
	<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>17</b>
	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Tipos de investigación.....</b>	<b>17</b>
3.1.1	Investigación Analítica .....	17
3.1.2	Investigación Experimental .....	17
3.1.3	Investigación Comparativa .....	18
<b>3.2</b>	<b>Normas de Referencia .....</b>	<b>18</b>

3.2.1	Norma ASTM D543: Prácticas estándar para evaluar la resistencia de los plásticos a reactivos.....	18
3.2.2	Norma ISO 12947-2 Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos.....	19
3.2.3	Norma ISO 13934-2 Determinación de la resistencia a la tracción de los tejidos por el método de agarre.....	19
3.2.4	Norma ISO 6330 Procedimientos de lavado y secado doméstico para ensayos textiles	20
<b>3.3</b>	<b>Flujogramas.....</b>	<b>20</b>
3.3.1	Flujograma general .....	20
3.3.2	Flujograma muestral .....	22
<b>3.4</b>	<b>Equipos y materiales.....</b>	<b>23</b>
<b>3.5</b>	<b>Procedimiento .....</b>	<b>31</b>
3.5.1	Preparación de los tejidos .....	32
3.5.2	Exposición de los sustratos al diésel “ <i>Fósil</i> ” .....	33
3.5.3	Proceso de Lavado y Secado.....	34
3.5.4	Proceso de Ensayo de Abrasión.....	34
<b>3.5.5</b>	<b>Proceso de ensayo de tracción.....</b>	<b>38</b>
<b>3.5.6</b>	<b>Evaluación del Cambio de Color .....</b>	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>43</b>
<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>		<b>43</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>43</b>

<b>4.1.1 Resistencia a la Abrasión .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.2 Resistencia a la Tracción.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1.3 Normalidad de datos.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1.4 Análisis de la varianza.....</b>	<b>56</b>
<b>4.2 Análisis de resultados .....</b>	<b>60</b>
4.2.1 Análisis del ensayo a la abrasión y cambio de color .....	60
4.2.2. Análisis del ensayo a la tracción.....	62
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>70</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>71</b>
<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Valores de masa de las muestras después de diferentes ciclos de frotamiento.....	8
<b>Tabla 2</b> Especificaciones del diésel “fósil” .....	13
<b>Tabla 3</b> Caracterización de los tejidos .....	24
<b>Tabla 4</b> Características técnicas de la lavadora.....	26
<b>Tabla 5</b> Características técnicas de la secadora .....	27
<b>Tabla 6</b> Especificaciones del equipo Martindale .....	30
<b>Tabla 7</b> Distribución del tejido.....	32
<b>Tabla 8</b> Tolerancia de la norma ISO 105 A02 – Escala de grises.....	42
<b>Tabla 9</b> Caracterización del ensayo de resistencia a la abrasión.....	43
<b>Tabla 10</b> Resultados de la evaluación de resistencia a la abrasión del denim 100 % algodón (12 oz) .....	45
<b>Tabla 11</b> Resultados de la evaluación de resistencia a la abrasión del denim 100 % algodón (14 oz) .....	45
<b>Tabla 12</b> Ficha informativa para la evaluación de la resistencia a la tracción del denim 100 % algodón .....	46
<b>Tabla 13</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (0 h) .....	48
<b>Tabla 14</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (8 h) .....	49
<b>Tabla 15</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (16 h) .....	50
<b>Tabla 16</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (24 h) .....	50
<b>Tabla 17</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (0 h) .....	51

<b>Tabla 18</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (8 h) .....	52
<b>Tabla 19</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (16 h) .....	52
<b>Tabla 20</b> Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (24 h) .....	53
<b>Tabla 21</b> Resultados de cambio de color .....	61
<b>Tabla 22</b> Fuerza máxima de tracción .....	63
<b>Tabla 23</b> Resultados de elongación.....	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Cambios superficiales del tejido antes y después de la abrasión.....	7
<b>Figura 2</b>	Desgaste por abrasión en algodón con y sin DND .....	10
<b>Figura 3</b>	Flujograma general de proceso.....	21
<b>Figura 4</b>	Flujograma muestral.....	22
<b>Figura 5</b>	Hidrocarburo líquido derivado del petróleo .....	25
<b>Figura 6</b>	Detergente normalizado de laboratorio .....	25
<b>Figura 7</b>	Codificación para ensayos de abrasión.....	28
<b>Figura 8</b>	Codificación para ensayos de tracción .....	28
<b>Figura 9</b>	Equipo Martindale .....	30
<b>Figura 10</b>	Dinamómetro del laboratorio de la Carrera de Textiles .....	31
<b>Figura 11</b>	Curva de proceso de exposición .....	33
<b>Figura 12</b>	Lavado del denim .....	34
<b>Figura 13</b>	Troquelado de testigo base .....	35
<b>Figura 14</b>	Colocación de testigos bases .....	35
<b>Figura 15</b>	Muestras de probetas del tejido .....	36
<b>Figura 16</b>	Probeta esponja base.....	36
<b>Figura 17</b>	Ajuste de probetas en el armazón.....	37
<b>Figura 18</b>	Probetas ajustadas e inicio del ensayo.....	37
<b>Figura 19</b>	Corte de probetas denim 100% algodón.....	38
<b>Figura 20</b>	Calibración del Dinamómetro .....	39
<b>Figura 21</b>	Configuración y control del ensayo.....	39
<b>Figura 22</b>	Inicio del ensayo de la resistencia a la tracción.....	40

<b>Figura 23</b> Probetas sometidas a la abrasión .....	41
<b>Figura 24</b> Normalidad de la fuerza de tracción del tejido denim de 12 oz(urdimbre).....	54
<b>Figura 25</b> Normalidad de la fuerza de tracción de tejido denim de 12 oz (trama) .....	55
<b>Figura 26</b> Normalidad de la fuerza de tracción de tejido denim de 14 oz (urdimbre).....	55
<b>Figura 27</b> Normalidad de la fuerza de tracción de tejido denim de 14 oz (trama) .....	56
<b>Figura 28</b> Varianza del tejido denim 12 oz (Urdimbre).....	57
<b>Figura 29</b> Varianza del tejido denim 12 oz (trama) .....	58
<b>Figura 30</b> Varianza del tejido denim 14 oz (urdimbre).....	58
<b>Figura 31</b> Varianza del tejido denim 14 oz (trama) .....	59
<b>Figura 32</b> Comportamiento del tejido ante la fuerza máxima.....	65
<b>Figura 33</b> Resultados de elongación .....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> Ficha técnica de Petroecuador.....	78
<b>Anexo 2</b> Proceso de exposición al Diésel.....	79
<b>Anexo 3</b> Proceso de Lavado y Secado.....	80
<b>Anexo 4</b> Colocación y Sujeción de Testigos Bases.....	81
<b>Anexo 5</b> Verificación de Resultados en los 30 000 Ciclos.....	82

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **El problema**

#### **1.1 Problema de investigación**

La ropa de trabajo utilizada en entornos industriales exige el cumplimiento de propiedades mecánicas que garanticen resistencia, durabilidad y seguridad para el usuario. Sin embargo, en sectores como la fabricación de postes de hormigón armado, el empleo frecuente de diésel “fósil” como agente desmoldante expone constantemente las prendas a este hidrocarburo. Este contacto, ya sea por salpicaduras o manipulación directa, podría provocar un desgaste gradual del tejido, poniendo en riesgo su integridad estructural y funcional. Según Marcelo et al. (2019) señalan que la ropa de trabajo depende en gran medida de la capacidad de resistir a factores de riesgo presentes en entornos laborales; incluidos aquellos de origen químico, por esta razón, resalta la importancia de evaluar cómo los agentes como el diésel “fósil” puede afectar las propiedades mecánicas del sustrato textil empleados en estas actividades.

Desde la perspectiva de la ingeniería textil, se reconoce que el tejido denim 100% algodón, aunque es muy valorado por su resistencia, comodidad y transpirabilidad, puede ser vulnerable a compuestos orgánicos como el diésel “fósil”. Este tejido, al estar hecho de fibras celulósicas, tiene una naturaleza oleófila que facilita la absorción de hidrocarburos. En este sentido, en el estudio realizado por Shah et al., (2024) explican que el algodón puede absorber alrededor de 0,21 g de diésel por gramo de tejido, lo que plantea una hipótesis de que tal acumulación de este hidrocarburo en el tejido puede contribuir al deterioro mecánico prematuro en condiciones de uso frecuente.

Además, el diésel se clasifica como un hidrocarburo pesado, y su efecto sobre las fibras textiles es más agresivo en comparación con otros solventes, lo que puede llevar a deformaciones estructurales y fallas cuando se somete a tracción o abrasión. Además Ho & Kan (2022) manifiestan que los tejidos con propiedades de algodón pueden absorber hidrocarburos como el diésel “fósil”, lo cual a tiempos prolongados podría existir acumulación de estos compuestos en la fibra. Esta posibilidad motiva la presente investigación si la absorción a este líquido afecta a la resistencia mecánica del tejido, especialmente en propiedades de tracción y abrasión.

## **1.2 Objetivos**

### **Objetivo general**

- Evaluar la influencia del diésel “fósil” en la resistencia a la abrasión y tracción de tejidos denim 100% algodón.

### **Objetivos específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica, artículos científicos y otros sobre el comportamiento del tejido denim 100 % algodón frente a hidrocarburos como el diésel y su efecto en la resistencia a la tracción y abrasión.
- Obtener muestras de tejido denim 100 % algodón en inmersiones controladas de diésel durante diferentes intervalos de tiempo.
- Evaluar la resistencia a la abrasión y a la tracción de las muestras de tejido denim 100 % algodón, tras su exposición al diésel, empleando las siguientes normas técnicas ISO 12947-2 e ISO 13934-2.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos de las diferentes pruebas mediante herramientas estadísticas utilizando el software Past4.

### **1.3 Formulación del problema de investigación (alcance y delimitación)**

En la industria ecuatoriana dedicada a la fabricación de postes de hormigón armado, el uso del diésel “fósil” como agente desmoldante expone constantemente las prendas de trabajo al entrar en contacto con este hidrocarburo, lo que puede alterar las propiedades mecánicas del tejido denim 100 % algodón, material ampliamente empleado en la confección de ropa industrial por su resistencia y comodidad.

Asimismo, la exposición extendida de los textiles a hidrocarburos crea la posibilidad de un deterioro acelerado en sus propiedades mecánicas, en especial en resistencia a la tracción y abrasión, lo que podría causar un incremento de fallos inesperados que comprometan tanto a la seguridad del trabajador como la durabilidad de las prendas. Chorieva et al., (2024) demostraron que los tejidos especiales de protección reducen su rendimiento cuando entran en contacto con hidrocarburos pesados. Sin embargo, estos estudios son aplicados bajo diferentes características y parámetros, por lo que no existe una evidencia sustentada ante la acción del diésel en tejidos denim 100% algodón, por lo que es importante cubrir esa brecha y presentar datos útiles para la sección adecuada de textiles industriales.

El estudio se desarrollará en los laboratorios de la Carrera de Textiles de la Universidad Técnica del Norte, durante el período octubre 2025 – marzo 2026, aplicando las normas ISO 12947-2 (ensayo Martindale) e ISO 13934-2 (ensayo de tracción por agarre) para evaluar la resistencia a la abrasión y tracción, respectivamente. Se emplearán muestras de tejido denim 100 % algodón de 12 y 14 onzas, sometidas a inmersiones controladas en diésel “fósil” durante 8, 16 y 24 horas, con el fin de analizar comparativamente las variaciones en sus propiedades mecánicas mediante herramientas estadísticas.

## 1.4 Justificación

En la actualidad, la resistencia mecánica de los tejidos empleados en prendas de protección laboral, como el denim 100 % algodón, es de vital importancia, especialmente en entornos industriales donde la exposición a hidrocarburos, como el diésel “fósil”. El contacto de este combustible con los tejidos puede alterar sus propiedades mecánicas, disminuyendo su durabilidad y comprometiendo la integridad del trabajador. Por lo tanto, Adamu (2022) explica que el denim es ampliamente empleado en prendas de trabajo por su resistencia, comodidad, alta absorción de humedad y buena permeabilidad al vapor. A pesar de ello existe una carencia de información técnica específica sobre su comportamiento frente a la exposición prolongada a los hidrocarburos. Esta limitación dificulta el desarrollo de soluciones textiles y limita la capacidad de las empresas para tomar decisiones sobre la ropa industrial de trabajo.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación tiene como fin evaluar las repercusiones del diésel “fósil” en las propiedades mecánicas del tejido denim 100% algodón. Para lo cual se llevará un análisis de la resistencia a la abrasión mediante la norma ISO 12947-2 y la resistencia a la tracción mediante la norma ISO 13934-2. Los ensayos de laboratorio permitirán datos confiables y cuantificables sobre la influencia del diésel “fósil” bajo estos comportamientos mecánicos. Asimismo, los resultados del estudio proporcionarían información técnica confiable tanto para los trabajadores expuestos a hidrocarburos como para las empresas manufactureras. Esta información permitiría seleccionar adecuadamente los materiales textiles, asegurando que las prendas cumplan su función protectora durante un mayor periodo de tiempo. Finalmente, al analizar y cuantificar las afectaciones del diésel “fósil” a tejidos denim 100 % algodón, se generaría una base técnica que contribuya a mejorar la seguridad, durabilidad y funcionalidad de las prendas de trabajo utilizadas en entornos con exposición a hidrocarburos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

La evaluación del comportamiento mecánico de los tejidos destinados a los sectores industriales es de vital importancia para garantizar la seguridad y durabilidad. En tal sentido, el denim 100% algodón es ampliamente utilizado en sectores industriales por lo que sus prendas están diariamente expuestas a diferentes compuestos tales como diésel “fósil”, lo que podría provocar importantes alteraciones en sus propiedades y no cumplir con el rol de protección ni seguridad. Por ello, diversos autores han estudiado el deterioro del tejido analizando tanto a la abrasión como a la acción de agentes químicos, con el propósito de llegar como estos influyen en el desgaste y a la resistencia del material.

En este sentido, Posso-Pasquel et al. (2024) realizaron un estudio comparativo en base a la resistencia a la abrasión aplicados a diferentes tipos de tejidos de algodón y meta-aramida, para lo cual se detalla el uso del equipo Martindale bajo la norma 12947-2. Los resultados reflejaron que factores como el gramaje del tejido, el tipo de ligamento y la composición de la fibra tienen un impacto directo en la resistencia a la abrasión, de esta manera demostrando que la resistencia no depende solo de la fibra sino también de la estructura con la que fue diseñada.

Por otra parte, evaluar la resistencia a la tracción es un punto clave para conocer la integridad del tejido frente a esfuerzos mecánicos. Estos factores se determina bajo la norma ISO 13934-2, que establece detalladamente el modo de medir la fuerza máxima antes del desgarro (Preview, 2014).

En relación de causa y efecto del diésel sobre el tejido, Sofronova (2024) manifiesta que el hidrocarburo diésel tiene alta probabilidad de ocasionar un deterioro más agresivo en

comparación con otros solventes orgánicos, provocando la cohesión entre fibras y reduciendo la resistencia mecánica del material. No obstante, ciertos estudios han demostrado que el tejido denim 100% algodón posee una capacidad de soportar hasta 80 000 ciclos de Martindale antes de presentar daños serios, lo cual confirma su buen desempeño frente a condiciones abrasivas moderadas.

Asimismo, se ha evidenciado que ciertos parámetros del tejido como mayor título del hilo, alta torsión, mayor número de pasadas y un hilo de urdimbre con alta respuesta incrementan la resistencia a la abrasión y tracción, inclusive si se presentan en ambientes de alto desgaste (Natarajan & Palani Rajan, 2024). Por otro parte, Kalazić et al. (2023) demostraron que la porosidad del tejido influye directamente en la capacidad de resistir la penetración de los líquidos, por consiguiente se entiende que el tejido con alta densidad se enfrenta mejor frente a la entrada y el daño de sustancias como el diésel.

Finalmente, en un estudio enfocado en la absorción de combustible, se evidencio los resultados donde el algodón sin tratar adquiere una rápida penetración del diésel en sus partes internas, lo cual confirma una rápida absorción del material y cambios en su integridad estructural (Angelova et al., 2025). Este resultado no solo aumenta la retención del hidrocarburo, sino que provocar una cohesión entre fibras y alterando las propiedades del tejido, como consecuencia mayor afectando su resistencia a la tracción y abrasión.

## **2.2 Bases teóricas**

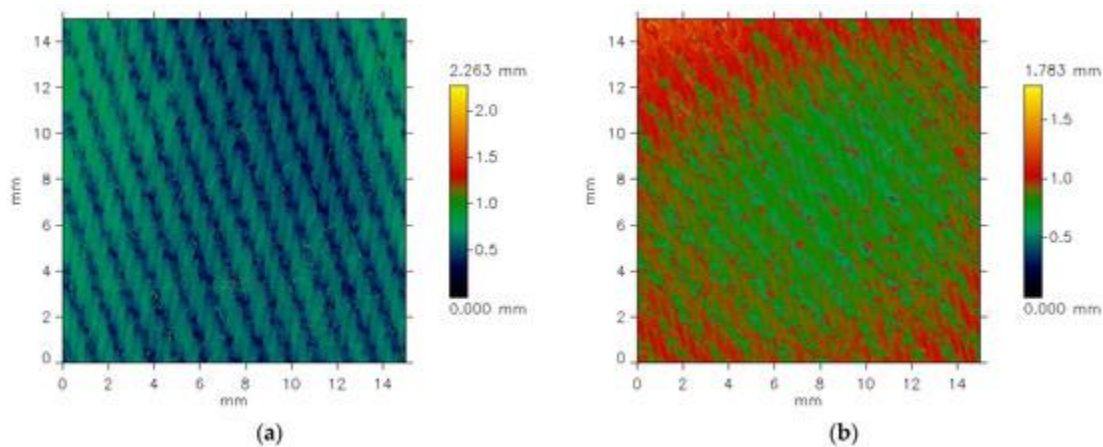
### **2.2.1 Alteraciones Superficiales del Tejido Inducidas por Abrasión**

La abrasión genera alteraciones superficiales del tejido, afectando la geometría del ligamento y su integridad del hilo reflejado desde la primera etapa del desgaste. Según estudios realizados por (Matusiak & Kosiuk, 2025) afirman que, la estructura inicial del tejido se observa

definida y regular, evidenciando claramente e identificable los cruces de ligamentos en sentido urdimbre y trama. Sin embargo, después de someter a la abrasión como se puede ver en la **Figura 1** el patrón inicial pierde nitidez y aparecen ciertos cabos desprendidos generando una superficie con más vellosidad.

### Figura 1

*Cambios superficiales del tejido antes y después de la abrasión*



Fuente: (Matusiak & Kosiuk, 2025, p. 9)

#### 2.2.2 Daño Anisotrópico por Abrasión en Denim Elástico

En un estudio centrado en el comportamiento del denim elástico con elastano, se investigó cómo la abrasión afecta las propiedades mecánicas del tejido según la dirección del desgaste. Se realizaron pruebas de abrasión lineales considerando tres direcciones específicas: urdimbre, trama y sesgado. Los resultados revelaron que la pérdida de masa y la disminución de la resistencia a la tracción no son uniformes en todas las direcciones.

En particular, al aplicar la acción del desgaste en sentido de la trama, los resultados que mostró el tejido fue una caída pronunciada en su resistencia. Este resultado nos da idea de que el tejido tiene un comportamiento anisotrópico, lo que nos da entender que sus propiedades varían

según la forma de aplicar el esfuerzo. Toda esta investigación aporta a comprender de mejor manera la degradación del tejido en condiciones reales de uso y como la estructura interna del tejido tiene relación directa frente a factores físicos como la abrasión (Shaw & Mukhopadhyay, 2022).

### 2.2.3 Influencia del Tipo de Ligamento en la Abrasión Textil

Los tejidos pueden reaccionar de maneras distintas ante la abrasión, dependiendo del tipo de ligamento con el que se hayan fabricado. En un estudio realizado con tejidos de algodón puro, se aplicó el método Martindale para medir la pérdida de masa en diversas estructuras textiles **Tabla 1**. Se encontró que los tejidos con floats largos, como el satén, sufrieron un mayor desgaste, ya que los hilos más expuestos en la superficie se desgastan más rápidamente debido al roce constante.

**Tabla 1**

*Valores de masa de las muestras después de diferentes ciclos de frotamiento*

Código de muestra	Masa de las muestras antes del análisis (g)	Masa de las muestras después de diferentes ciclos (g)			
		5,000	7,500	10,000	15,000
P1	0,1796	0,1756	0,1720	0,1690	0,1637
P2	0,1778	0,1709	0,1684	0,1665	0,1637
P3	0,1768	0,1699	0,1664	0,1640	0,1599
T1	0,1675	0,1636	0,1614	0,1598	0,1568
T2	0,1655	0,1597	0,1579	0,1562	0,1533
T3	0,1689	0,1638	0,1621	0,1601	0,1572
S1	0,1746	0,1702	0,1664	0,1632	0,1579

Fuente: adaptado de (Kaynak y Topalbekiroğlu, 2008)

En cambio, los tejidos con estructuras más compactas, como la sarga, mostraron un mejor comportamiento frente a la abrasión. Esto se debe a que el entrelazado más denso protege mejor

los hilos, distribuyendo de forma uniforme el esfuerzo mecánico y reduciendo la pérdida de masa (Kaynak y Topalbekiroğlu, 2008).

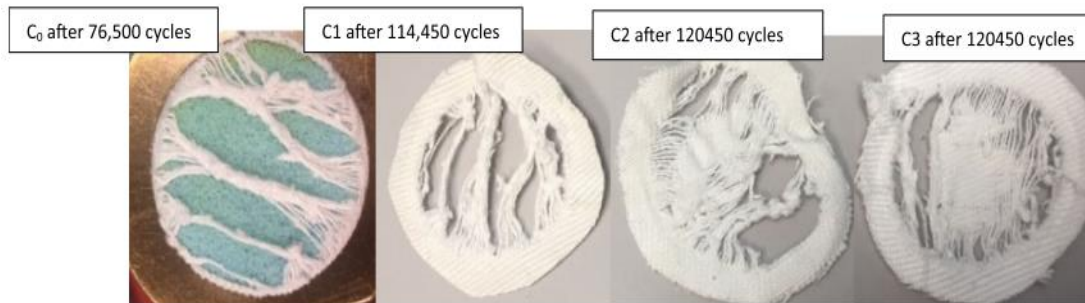
#### **2.2.4 Revestimiento con Nanodiamante para Mejoras Mecánicas**

Se han desarrollado estudios científicos orientados a mejorar la resistencia al desgaste de tejidos de algodón mediante el uso de nanomateriales funcionales. En este contexto, una investigación reciente analizó el comportamiento de tejidos recubiertos con nanodiamantes, destacando su efecto sobre la dureza superficial y la resistencia mecánica. Hinzmann et al. (2024) menciona que a pesar del aumento en la dureza, el tratamiento no sufre cambios negativos en la suavidad del tejido, lo que representa una ventaja significativa en comparación con otros métodos de refuerzo superficial. Esta tecnología resulta especialmente atractiva para el sector textil, porque permite conservar las propiedades del algodón mientras se incrementa su durabilidad frente al uso intensivo.

Houshyar et al. (2019) señalan que el efecto que se obtiene con el recubrimiento sobre el tejido de algodón es positivo, teniendo un incremento de hasta 79% en la resistencia a la tracción, acompañado de una mayor estabilidad térmica en comparación con el algodón sin tratar. Además, en la **Figura 2** se comparan los resultados del ensayo de abrasión entre un tejido de algodón sin tratamiento y otro recubierto con nanodiamantes detonados (DND). Se observa que el textil tratado mantiene una mayor integridad estructural después de múltiples ciclos de abrasión, mientras que el sustrato sin modificar da resultados de desgaste acelerado desde etapas iniciales del ensayo.

## Figura 2

*Desgaste por abrasión en algodón con y sin DND*



Fuente: (Houshyar et al., 2019)

### 2.2.5 Revestimientos Oleofóbicos sobre Algodón

Se han realizado investigaciones científicas sobre el uso de recubrimientos funcionales en tejidos de algodón para otorgarles propiedades que repelen sustancias oleosas. Entre estos avances, destaca la combinación de la tecnología sol-gel con nanopartículas de sílice y fluoropolímeros. Este tipo de recubrimiento ha demostrado crear una capa uniforme sobre la superficie del tejido, capaz de repeler aceites como el diésel “fósil”. El tratamiento se lleva a cabo a través de un proceso de inmersión, secado y curado, lo que permite que el algodón mantenga su apariencia y transpirabilidad, sin afectar sus propiedades táctiles. Según Wang et al. (2010) indican que esta capa protectora no solo es altamente efectiva contra aceites, sino que también mantiene su rendimiento incluso después de múltiples ciclos de lavado.

### 2.2.6 Efecto del Desgaste por Abrasión en Condiciones Húmedas

El desgaste por abrasión en condiciones húmedas ha sido un tema de estudio importante para entender cómo se comportan los tejidos en ambientes donde se combinan fricción y humedad. Esto es similar a lo que ocurre cuando los textiles se exponen a hidrocarburos como el diésel “fósil”. Por lo cual:

Analizar este tipo de situaciones nos ayuda a prever cómo la presencia de líquidos puede afectar la resistencia del tejido, algo que resulta especialmente relevante para la ropa de trabajo en entornos industriales. Ukponmwan (1993) afirma que en tejidos de algodón existe una notable disminución en la resistencia a la tracción cuando están húmedos durante el proceso de abrasión, esta pérdida se debe a la debilidad estructural que presenta la fibra natural al absorber líquidos.

## **2.3 Marco legal**

En este apartado se incluyen las normas, estándares y disposiciones que regulan la fabricación, uso, y control de la indumentaria destinados a sectores industriales. Este control abarca parámetros de seguridad, desempeño mecánico, ergonomía y protección del operario o trabajador, dando una aprobación que los textiles a fines industriales cumplan con criterios importantes de resistencia y durabilidad frente a riesgos físicos o químicos.

### **2.3.1 Constitución de la República del Ecuador**

La constitución de la República del Ecuador establece principios fundamentales que respalda los estudios científicos, tecnológicos y productivos del país, siendo muy oportuno para investigaciones direccionadas a seguridad industrial y al desempeño de materiales textiles. En este contexto el artículo 15 menciona que “el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto” (Constitución de la República del Ecuador, 2006).

Asimismo, la Ley Orgánica de Salud en el artículo 118, menciona que los empleadores deben “proteger la salud de sus trabajadores, dotándoles de información suficiente, equipos de protección, vestimenta apropiada y ambientes seguros de trabajo, a fin de prevenir, disminuir o

eliminar los riesgos, accidentes y aparición de enfermedades laborales” (Ministerio de Salud Pública, 2015).

### **2.3.2 Líneas de investigación de la Universidad Técnica del Norte**

La Universidad Técnica del Norte lleva como visión formar profesionales de alto valor y éticos, que poseen la capacidad de liderazgo mediante criterios de gran valor, además impulsar y aportar en sectores de innovación, para que contribuyan al desarrollo social y cultural del país. Para tal cumplimiento de esta investigación aplica el área y línea de investigación nueve que menciona: Gestión, Producción, Productividad, Innovación y Desarrollo Socioeconómico.

## **2.4 Marco conceptual**

### **2.4.1 Hidrocarburo**

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos compuestos enteramente de átomos de hidrógeno y carbono. Representan los principales componentes del petróleo y el gas natural, y su estructura puede adoptar la forma de cadenas ramificadas, cerradas o lineales. Según el tipo de enlaces y la disposición molecular, se clasifican en aromáticos y alifáticos (alcanos, alquenos y alquinos). Debido a su alto contenido energético, estos compuestos se utilizan ampliamente como combustibles y materias primas en la industria química. En general, su producción también puede lograrse artificialmente mediante procesos como la hidrogenación de CO<sub>2</sub>, donde el tipo de catalizador afecta directamente al tipo de hidrocarburo producido (Li et al., 2018).

### **2.4.2 Diésel “fósil”**

Según Gad (2014), el combustible fósil es un hidrocarburo derivado del petróleo crudo y está compuesto principalmente por largas cadenas de compuestos aromáticos, ampliamente utilizados como combustible en entornos industriales. En este contexto la **Tabla 2** establece los

parámetros técnicos importantes que debe cumplir con respecto a la calidad y caracterización de manera organizada, permitiendo una clara comprensión de los valores técnicos del diésel “fósil”.

**Tabla 2**

*Especificaciones del diésel “fósil”*

<b>Requisitos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Método de ensayo</b>
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493
Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	Procedimiento A NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10 % del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C		360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	-	5	EN 14078

**Fuente:** adaptado de (Petroecuador, 2012)

Asimismo, cuando el diésel “fósil” entra en contacto con fibras textiles de celulosa, podría rápidamente causar efectos físicos y químicos negativos, como el hinchamiento de la fibra, la pérdida de cohesión interna y un deterioro acelerado del material. Por tal razón, Aqel et al., (2016) afirma que las características de absorción del sustrato son uno de los factores más importantes que determinan la persistencia de los acelerantes en los materiales textiles.

### **2.4.3 Tejido denim industrial**

El tejido denim 100% algodón es una estructura textil de ligamento sarga, conocido por su resistencia, durabilidad y comodidad. Por tal razón, se ha convertido en una de las elecciones más populares para la confección de ropa de trabajo industrial. Su diseño, que utiliza hilos gruesos y tiene una alta densidad, le otorga propiedades mecánicas excepcionales que lo hacen ideal para entornos donde se necesita protección contra la fricción o el desgaste constante. Además, este tejido permite una buena transpiración y se puede tratar con acabados funcionales, como los repelentes al agua. El denim 100% algodón, especialmente cuando tiene una alta densidad en la urdimbre y un mayor número de torsiones por metro, muestra una excelente resistencia a la tracción y a la abrasión, superando en algunos casos los 80,000 ciclos de desgaste sin rupturas visibles (Sofronova, 2024).

#### **Gramaje de tejido denim**

El gramaje del denim correspondiente a 12 y 14 oz hace referencia a la masa del tejido expresada en onzas por yarda cuadrada, permitiendo caracterizarlo por su densidad superficial y estimar su desempeño mecánico. Una mayor densidad implica una mayor compactación de las fibras y un aumento del espesor del material lo cual se asocia a una mayor rigidez estructural, este valor está relacionado a la resistencia que puede poseer un tejido ante la tracción y la abrasión. En el uso común el denim de 12 oz es empleado para prendas de uso regular debido a su confort y resistencia, mientras que el de 14 oz es destinada a situaciones de mayor exigencia donde se requieren mayor durabilidad y protección frente a esfuerzos mecánicos. El rendimiento del denim en pruebas de abrasión mejora notablemente con el aumento del gramaje, mostrando que los tejidos de 14 onzas resisten más ciclos de fricción antes de mostrar signos visibles de desgaste en comparación con los de menor peso (Natarajan & Palani Rajan, 2024).

#### **2.4.4 Algodón**

El algodón es una fibra de origen vegetal con una alta presencia de celulosa, ocasionando que la estructura interna de este material posea porosidad y polaridad, lo que facilita su interacción con diferentes tipos de fluidos, permitiendo una elevada absorción ante sustancias acuosas como los compuestos oleosos. Si bien esta propiedad favorece al confort y funcionalidad del material, también implica una mayor retención de contaminantes de naturaleza orgánica. Investigaciones científicas señalan que las fibras de algodón presenta un comportamiento oligopólico significativo, que conlleva que el ángulo de contacto pase de  $135^\circ$  a  $51^\circ$ , para productos derivados de hidrocarburos, permitiendo una rápida humectación y absorción (Cao et al., 2022).

#### **2.4.5 Resistencia mecánica**

La resistencia mecánica en los textiles es una característica clave que determina la capacidad de un tejido para soportar fuerzas externas sin romperse o deteriorarse. Dentro de esta propiedad, se destaca el comportamiento frente a la abrasión, que evalúa la capacidad del material al desgaste por fricción, así como la resistencia a la tracción, que mide la fuerza máxima que el tejido puede soportar antes de su ruptura. Estos valores pueden variar considerablemente según la estructura del tejido, el tipo de fibra utilizada, el acabado superficial y el grado de uso o exposición al entorno. En este contexto, el desempeño mecánica de los tejidos depende de factores como la densidad del hilo, el tipo de ligamento, el acabado químico y el desgaste acumulado, lo que afecta su comportamiento ante esfuerzos de fricción o tracción (Posso-Pasquel et al., 2024).

#### **2.4.6 Ensayos físicos normalizados**

Los ensayos físicos normalizados son una herramienta clave para evaluar de manera objetiva las propiedades mecánicas de los textiles, mediante procedimientos estandarizados a nivel

internacional. En el caso de los tejidos utilizados para ropa de trabajo, es crucial entender cómo se comportan ante el desgaste y la tensión, especialmente después del contacto con agentes degradantes como los hidrocarburos. Para esto, existen normas técnicas que nos ayudan a conocer su comportamiento, entre ellas, destacan la normas: ISO 12947-2 e ISO 13934-2, ambos muy utilizados en laboratorios textiles alrededor del mundo (Standards, 2021).

### **Resistencia a la abrasión – método Martindale (ISO 12947-2)**

La resistencia a la abrasión de un tejido medido a través del método Martindale, simula el desgaste por fricción continua al frotar una muestra contra un material abrasivo. La máquina se mueve siguiendo una trayectoria oscilante, y el ensayo se detiene, de acuerdo con la norma ISO 12947-2, cuando se rompe uno o más hilos o se forma un orificio visible. Este método es excelente para comparar de manera objetiva la durabilidad de diferentes tejidos. Según estudios técnicos, la prueba Martindale utiliza un movimiento Lissajous para replicar condiciones reales de uso, y es esencial para medir el ciclo de desgaste hasta un daño estructural (X. Wang et al., 2008).

### **Resistencia a la tracción – método de agarre (ISO 13934-2)**

La resistencia a la tracción es un ensayo que mide fuerza máxima que un tejido puede soportar antes de romperse al ser estirado. En el método de agarre, se sujeta una sección de la tela entre dos mordazas y se tira de ella hasta que se rompe. La norma ISO 13934-2 establece que este procedimiento simula las condiciones reales de tensión que una prenda puede experimentar durante su uso. Según Posso-Pasquel et al., (2024) la prueba de agarre es ideal para evaluar la resistencia estructural de tejidos expuestos a esfuerzos longitudinales, como los que se encuentran en la ropa industrial (p. 7).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

En este capítulo se expone la metodología a utilizar en nuestro proyecto, para ello se detalla el tipo de investigación a aplicar, del mismo modo, se especifican las normas técnicas y procedimientos aplicados para los ensayos a realizarse en el laboratorio, y de esta manera alcanzar los objetivos planteados en el estudio.

#### **3.1 Tipos de investigación**

##### **3.1.1 Investigación Analítica**

Según Hernández y Mendoza, (2023) la investigación analítica tiene como objetivo explicar por qué suceden ciertos eventos, estableciendo conexiones entre variables y evaluando hipótesis a través de un análisis crítico de la información. De esta manera, esta herramienta ayuda a la comprensión de los datos que se recolecten en función de los ensayos técnicos, como los ciclos resultantes de la prueba a la abrasión el material en crudo y con el acabado del diésel “fósil”, de la misma manera se analizará los datos de la resistencia a la tracción (Fuerza en Newtons) bajo las mismas condiciones ya mencionadas.

##### **3.1.2 Investigación Experimental**

Como mencionan Gerbing, (1963) la investigación experimental es uno de los métodos más rigurosos en el ámbito científico. Esto se debe a que permite establecer relaciones causales entre variables a través de la manipulación controlada de los factores que se están estudiando. Aplicando este tipo de investigación en el proyecto no ayuda a definir las normas a aplicar para determinar la resistencia a la abrasión y tracción en tejidos Denim de algodón, asimismo, por este

medio se definirá los parámetros de los ensayos a realizarse, de este modo se logrará conseguir resultados más confiables y precisos.

### **3.1.3 Investigación Comparativa**

Según Escott (2018) este método exige una cuidadosa selección de unidades comparables, el establecimiento de criterios claros y la sistematización de observaciones. A través de este proceso, podemos identificar regularidades, divergencias o correlaciones significativas que enriquecen la explicación científica del objeto de estudio. Por tal motivo, con esta investigación se realizará una comparación de los datos como los ciclos totales en los ensayos abrasión y la resistencia en (N) de la tracción, entre los resultados de los denim expuestos a diferentes periodos de tiempo al diésel “fósil”, y emitir si la presencia y los tiempos de exposición de dicho material al tejido afecta en los dos parámetros que se están estudiando.

## **3.2 Normas de Referencia**

### **3.2.1 Norma ASTM D543: Prácticas estándar para evaluar la resistencia de los plásticos a reactivos**

Con el objetivo de evaluar el efecto del diésel “fósil” sobre las propiedades mecánicas del tejido denim, se utilizó como referencia la norma ASTM D543, la cual establece procedimientos controlados de exposición química y comparar las propiedades antes y después de la exposición. Aunque esta norma está orientada a materiales plásticos, su fundamento metodológico se basa en la evaluación del comportamiento de materiales poliméricos frente a sustancias químicas bajo condiciones controladas de tiempo y tipo de reactivo. Considerando que las fibras textiles, especialmente aquellas de origen sintético o celulósicos tratado, presentan una base polimérica, los principios del ensayo resultan técnicamente aplicables al análisis de tejidos. En este sentido, la estructura del procedimiento permite su adaptación al ámbito textil, definiendo reactivos,

muestras, tiempos de inmersión y evaluación del desempeño mecánico. Para este estudio se utiliza el método de inmersión directa en el diésel “fósil” durante periodos de tiempo de 8, 16 y 24 horas, esto ya que en el Ecuador se tiene como un horario laboral de 8 horas (Ecuador, 2023).

### **3.2.2 Norma ISO 12947-2 Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos**

Para poder determinar la resistencia a la abrasión del tejido denim tanto en su estado crudo y en contacto con el diésel “fósil”, se aplicará la norma ISO 12947-2 la cual evalúa el comportamiento ante la abrasión de un tejido por el método de Martindale, esto por medio del movimiento y un material abrasivo. Con esta norma se logra establecer un método estandarizado para cuantificar cuántos ciclos de abrasión puede soportar un tejido antes de mostrar daños visibles, como la ruptura de hilos o la formación de agujeros. Asimismo, permite comparar la durabilidad de diferentes tejidos, ofreciendo resultados confiables, reproducibles y aceptados internacionalmente para evaluar cómo se comportan los materiales textiles frente al desgaste por fricción.

### **3.2.3 Norma ISO 13934-2 Determinación de la resistencia a la tracción de los tejidos por el método de agarre**

La norma ISO 13934-2 es parte de una serie de estándares internacionales que establecen cómo evaluar la propiedad a la tracción de los tejidos textiles. En esta norma se detalla un método de agarre, que implica sujetar una muestra rectangular de tejido entre dos mordazas de una máquina de ensayo y aplicar una fuerza creciente hasta que el material se rompa. Con esto se busca aplicar procedimientos estandarizados y reproducibles que permita evaluar el comportamiento de los tejidos bajo tensiones uniaxiales, similares a las que podrían experimentar durante su uso o manipulación del Denim. Considerando aspectos como el tamaño de la muestra, la velocidad de tracción, la alineación de las fibras y las condiciones ambientales del ensayo.

### **3.2.4 Norma ISO 6330 Procedimientos de lavado y secado doméstico para ensayos textiles**

La norma ISO 6330 describe procedimientos normalizados destinados al lavado y secado doméstico de textiles, con el objetivo de analizar su comportamiento ante prácticas habituales de cuidado. En esta norma se establecen condiciones controladas que permiten reproducir de manera estandarizada el tratamiento doméstico de las prendas, considerando variables como el tipo de detergente, temperatura del agua, número de ciclos de lavados, equipo a utilizar y el método de secado.

### **3.3 Flujogramas**

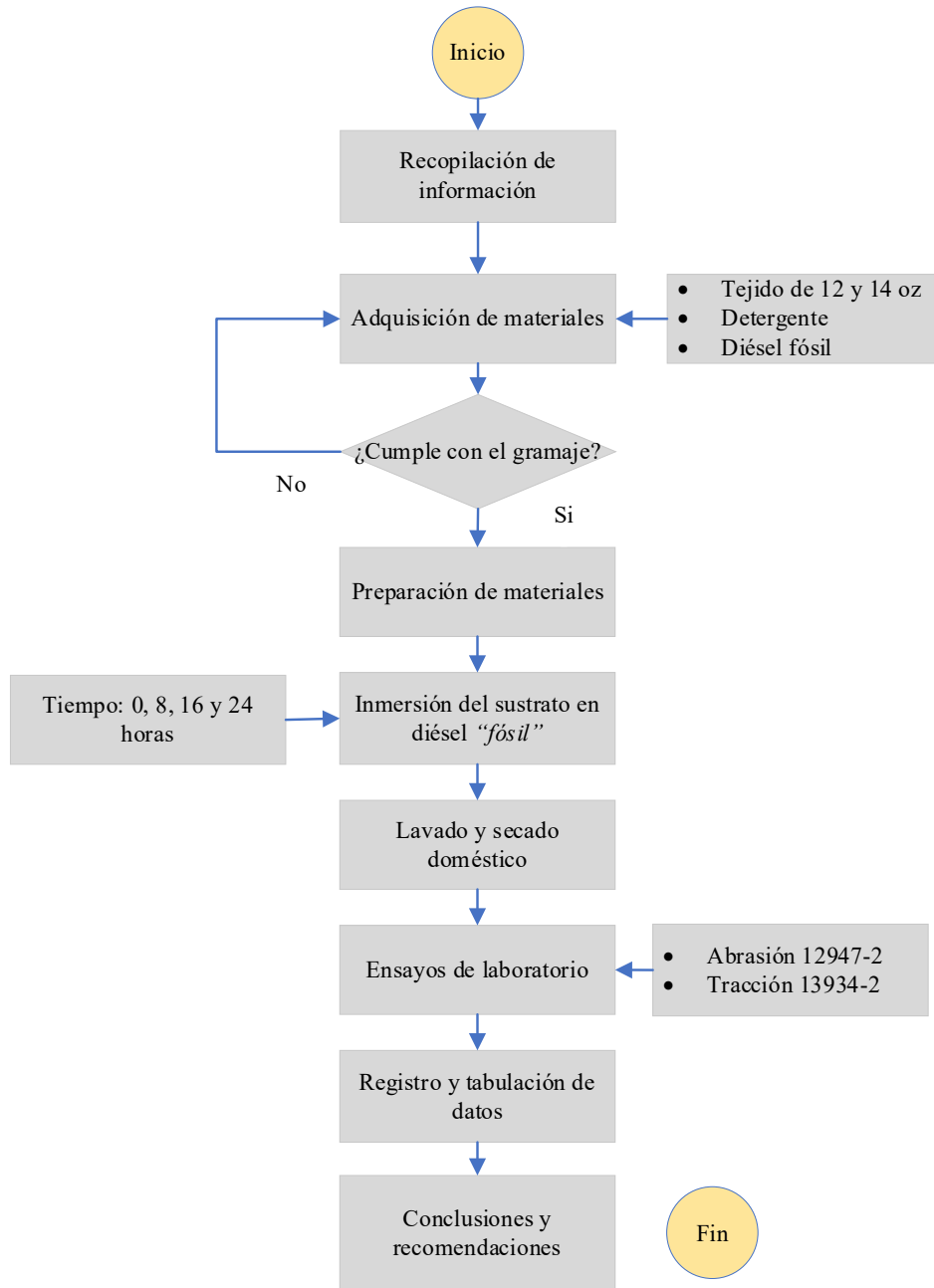
Un flujograma es una representación gráfica que permite visualizar de manera ordenada las etapas de un proceso, facilitando la comprensión de las actividades entre cada fase. Para el ámbito experimental, esta herramienta ayuda a organizar el procedimiento y la coherencia de la ejecución de las actividades y garantizar un resultado repetible y confiable del estudio.

#### **3.3.1 Flujograma general**

Como se puede ver en la **Figura 3**, se presenta un flujograma general que resume de manera ordenada las etapas del proceso experimental. Este esquema ha sido diseñado teniendo en cuenta los subprocesos clave que permiten evaluar la resistencia a la abrasión y a la tracción en muestras textiles específicas. Este procedimiento sigue las pautas establecidas en las normas ISO 12947-2 (para medir la resistencia a la abrasión) e ISO 13934-2 (para evaluar la resistencia a la tracción). Ambos ensayos requieren una planificación técnica adecuada, basada en parámetros definidos que aseguren la validez de los resultados.

**Figura 3**

*Flujograma general de proceso*



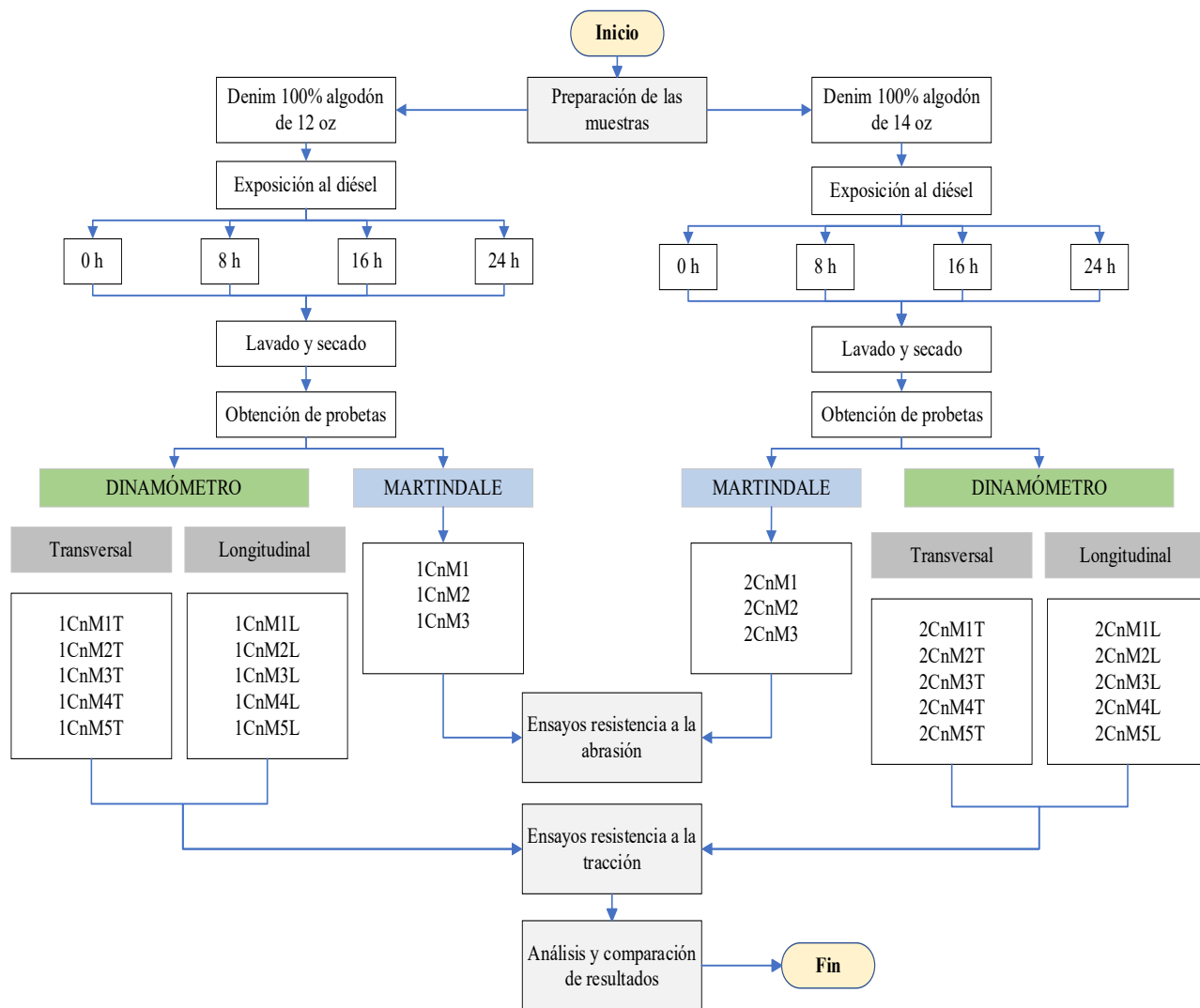
Fuente: Propia

### 3.3.2 Flujograma muestral

El flujograma de muestreo que se presenta utiliza la metodología de muestreo de la investigación, como se muestra en la **Figura 4**. Este flujograma resalta la secuencia óptima y las etapas necesarias para llevar a cabo los procesos y subprocesos requeridos en la preparación y evaluación de los tejidos de denim 100% algodón expuesto a diésel “fósil”. Del mismo modo con este diagrama se busca presentar en número de probetas que se obtendrán para el desarrollo de los ensayos en el laboratorio.

#### **Figura 4**

*Flujograma muestral*



Fuente: Propia

### 3.4 Equipos y materiales



#### 3.4.1 Material textil utilizado

Para este estudio se empleó dos materiales fundamentales ambos correspondientes al tejido denim compuesto de 100% algodón, los cuales se diferencian principalmente por su peso y densidad, siendo uno de 12 oz y el otro de 14 oz. Esta variación nos permitió analizar cómo el gramaje del tejido influye en su comportamiento y resistencia durante los ensayos de abrasión y

tracción. En la **Tabla 3** se presentan los datos generales del sustrato utilizado para el desarrollo de la investigación.

**Tabla 3**

*Caracterización de los tejidos*

CARACTERÍSTICAS-DENIM 12 OZ		
Composición	Co 100%	
Gramaje	635,5 g/m <sup>2</sup>	
Tipo de tejido	Plano	
Ligamento	Sarga (3x1)	
Hilos por cm	28	
Pasadas por cm	20	
CARACTERÍSTICAS-DENIM 14 OZ		
Composición	Co 100%	
Gramaje	740,5 g/m <sup>2</sup>	
Tipo de tejido	Plano	
Ligamento	Sarga (3x1)	
Hilos por cm	27	
Pasadas por cm	19	

Fuente: Propia

### 3.4.2 Diésel “Fósil”

Este material constituye un elemento clave en el desarrollo del estudio, ya que es donde se realizó la inmersión del tejido en tiempos de 8,16,24 horas. Junto con la muestra no expuesta, se obtiene así las cuatro variantes experimentales que conforman el análisis comparativo permitiendo evaluar el efecto progresivo del contacto con el diésel “fósil” sobre las propiedades del tejido. El combustible empleado corresponde al que se muestra en la **Figura 5**, y para una descripción más completa de sus características se incluye su ficha técnica en el **Anexo 1**.

## Figura 5

*Hidrocarburo líquido derivado del petróleo*



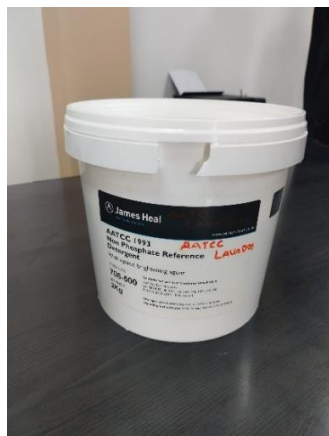
Fuente: (Disagrocombe, 2025)

### 3.4.3 Detergente del laboratorio bajo la norma ISO 6330

El detergente **Figura 6** es un producto químico destinado para la limpieza y el lavado de sustratos textiles y superficies diversas, empleado en esta investigación como producto de limpieza posterior a la exposición del tejido denim a diésel “fósil”. Está compuesto por tensioactivos y un pH ligeramente ácido lo que facilita la remoción de grasas y aceites adheridas al tejido. Además, tiene propiedades de buena solubilidad al agua y con una densidad controlada lo que permite un lavado sin dejar residuos sobre la superficie del tejido.

## Figura 6

*Detergente normalizado de laboratorio*



Fuente: Propia


### 3.4.4 Equipo de lavado

Se empleó una lavadora automática de carga frontal como equipo para el lavado de las muestras textiles, este tipo de equipo permite realizar procesos de lavado mediante programas preestablecidos, asegurando condiciones controladas de tiempo, temperatura y enjuague, así como una distribución uniforme del detergente.

En la presente investigación, el equipo fue utilizado para efectuar el lavado del tejido denim 100% algodón posterior a la exposición al diésel fósil. Este procedimiento permitió estandarizar las condiciones de lavado, incluyendo tiempo, temperatura y ciclos de enjuague, con el fin de garantizar uniformidad en el tratamiento de todas las muestras. En la **Tabla 4** se presentan las principales características técnicas del equipo empleado con el propósito de facilitar la reproducibilidad del proceso experimental.

**Tabla 4**

*Características técnicas de la lavadora*

Propiedad	Descripción	Unidades	Figura
Capacidad de carga	18	kg	
Tipo de equipo	Lavadora automática	–	
Material del tambor	Acero inoxidable	–	
Programas de lavado	Múltiples ciclos automáticos	–	
Alimentación eléctrica	110–120	V	

Fuente: Adaptado de (LG, 2025a)


### 3.4.5 Secadora

Se empleó una secadora automática de carga frontal como equipo para el secado de las muestras textiles, la cual opera mediante circulación controlada de aire caliente y un sistema automático de detección de humedad. Este mecanismo permite regular el tiempo y la intensidad del secado en función del contenido de humedad del material, asegurando condiciones uniformes durante el proceso, permitiendo así estandarizar el proceso de secado de las muestras posteriores al lavado.

En la presente investigación, la secadora de tambor es utilizada para el desecamiento del tejido denim 100% algodón después del proceso de lavado, de esta forma estandarizar las condiciones térmicas y mecánicas de la experimentación. En la **Tabla 5** se muestran las principales características técnicas del equipo.

**Tabla 5**

*Características técnicas de la secadora*

Propiedad	Especificación	Unidades / Detalle	Figura
Capacidad de secado	7.4	cu.ft	
Tipo de equipo	Secadora a gas	—	
Tipo de carga	Frontal	—	
Sistema de control de secado	Sensor Dry	—	
Niveles de temperatura de secado	Alta, media y baja (control automático)	—	
Material del tambor	Acero con aleación aluminizada	—	

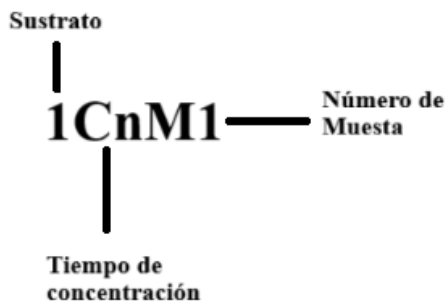
Fuente: Adaptado de (LG, 2025b)

### 3.4.6 Muestreo de las Probetas

El muestreo de un ensayo es un paso fundamental que ayuda a la recopilación y tabulación de los datos. Para este proceso se implementará una codificación de las muestras con el fin de facilitar la interpretación y el análisis de los resultados obtenidos. Esta codificación permitirá identificar de manera clara cada variante del estudio y garantizar una organización sistemática durante los ensayos. A continuación, se presenta la codificación empleada tanto para las pruebas de abrasión (**ver Figura 7**) como para las pruebas de tracción (**ver Figura 8**)

**Figura 7**

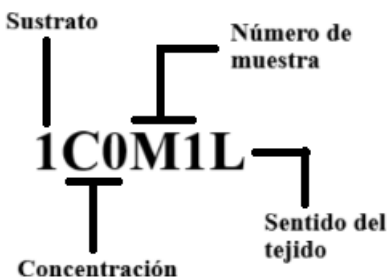
*Codificación para ensayos de abrasión*



**Nota.** Teniendo en cuenta el número de variables en el ensayo que son los tiempos de exposición del denim, el total de probetas para la norma 12947-2 serán de 12 muestras para el sustrato 1 y 12 para el sustrato 2.

**Figura 8**

*Codificación para ensayos de tracción*



**Nota.** Teniendo en cuenta el número de variables se deberá obtener un total de 20 probetas en sentido longitudinal y 20 muestras en sentido transversal para cada uno de los sustratos respectivamente.

### **3.4.7 Martindale**

Heal (2014) señala que el equipo Martindale está diseñado para la realización de ensayos de la abrasión y formación de pilling en sustratos textiles, siendo una herramienta de laboratorio muy importante y utilizado para la evaluación de tejidos frente a fricción repetitiva. Este equipo se emplea en el análisis de diversos tipos de telas de confección, lo que lo convierte en un instrumento apropiado para el estudio del desgaste superficial en tejidos de algodón 100 %.

Martindale es un equipo que se caracteriza por cumplir ciertas normas y métodos internacionales, tales como ISO, ASTM, EN, JIS, lo que permite la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados. Asimismo, dispone de estaciones de trabajo con rápido intercambio de probetas y un panel de control de fácil manejo. El equipo tiene un sistema de movimiento de Lissajous, lo que permite una fricción multidireccional uniforme sobre la superficie del tejido durante el ciclo de trabajo (Heal, 2014).

En el presente trabajo de investigación, el equipo llevará a cabo la evaluación de la resistencia a la abrasión del tejido denim 100% algodón, con la finalidad de analizar la influencia del diésel “fósil” sobre el comportamiento del tejido frente al desgaste por fricción. El ensayo se realizará bajo un contacto controlado entre la probeta y el denim y el material abrasivo normalizado, aplicando una presión definida y configurando un cierto número de ciclos de frotación. En **Figura 9** se presenta el equipo a utilizar para la realización de ensayos de abrasión.

## Figura 9

### *Equipo Martindale*



Fuente: Propia

En la **Tabla 6** se describe las principales especificaciones y condiciones de trabajo, llevando los respectivos ensayos de abrasión del tejido denim basados en recomendación y los lineamientos del fabricante.

**Tabla 6**

### *Especificaciones del equipo Martindale*

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación</b>	<b>Unidad</b>
Norma aplicada	ISO 12947-2	–
Tipo de ensayo	Abrasión	–
Área expuesta de la probeta	6,45	cm <sup>2</sup>
Presión aplicada sobre la probeta	12	kPa
Movimiento del ensayo	Trayectoria de Lissajous	–
Recorrido de las unidades motrices	60,5 ± 0,5	mm
Velocidad de rotación	47,5 ± 2,5	rpm
Número de ciclos de abrasión	Según diseño experimental	ciclos

Fuente: Adaptado de (Heal, 2014)

### 3.4.8 Dinamómetro

El dinamómetro es un equipo de ensayo utilizado para evaluar las propiedades mecánicas de un material, entre ellas la determinación de la fuerza a la tracción, permitiendo determinar la carga máxima que puede soportar antes de su rotura o desgarro (Heal, 2025). Este equipo posibilita a la aplicación de la norma ISO 13934-2, correspondiente al ensayo de tracción, la cual forma parte de los procedimientos empleados en el presente estudio. Como se muestra en la **Figura 10**, para el desarrollo de los ensayos se utilizó un dinamómetro universal disponible en el laboratorio de calidad textil.

#### **Figura 10**

*Dinamómetro del laboratorio de la Carrera de Textiles*



**Fuente:** Propia

### 3.5 Procedimiento









El presente apartado describe de manera detallada la secuencia de actividades desarrolladas para la ejecución del estudio, en el cual se exponen las etapas realizadas desde la preparación de las muestras hasta la aplicación de los ensayos correspondientes, condiciones operativas y parámetros utilizados.

### 3.5.1 Preparación de los tejidos

Una vez verificado que los tejidos cumplen con las características técnicas establecidas, se procede a su clasificación en función del tipo de material y de los tiempos de exposición definidos para el estudio en la **Tabla 7** se presenta la distribución de las muestras, organizadas de acuerdo con cada una de las condiciones y variables consideradas.

**Tabla 7**

*Distribución del tejido*

<b>Tejido de 12 oz (1)</b>			
Sin exposición (C0)	Exposición 8 h (C1)	Exposición 16 h (C2)	Exposición 24 h (C3)
			
<b>Tejido 14 oz (2)</b>			
Sin exposición (C0)	Exposición 8 h (C1)	Exposición 16 h (C2)	Exposición 24 h (C3)
			

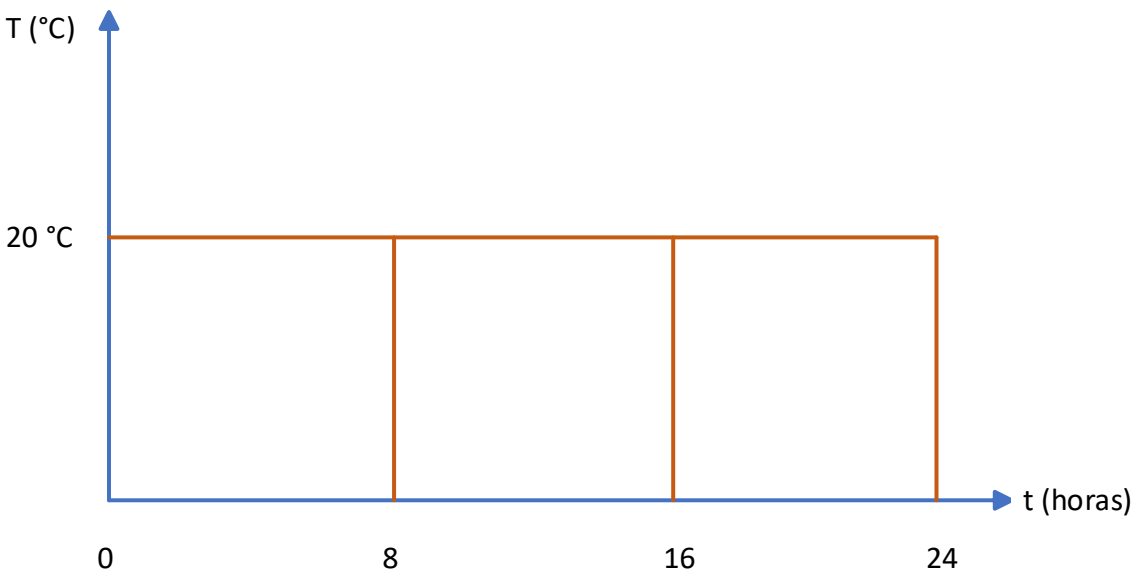
**Nota.** Para cada uno de nuestros parámetros se aplicó un tejido de 43 cm x 79 cm

### 3.5.2 Exposición de los sustratos al diésel “Fósil”

Una vez finalizada la distribución de las muestras, se procede a la etapa de exposición conforme a las condiciones establecidas en la norma ASTM D543, empleando el método de inmersión directa descrito en dicha normativa. Para este procedimiento, cada muestra es colocada en un recipiente que contiene una cantidad suficiente de diésel “fósil”, asegurando su completa inmersión (ver **Anexo 2**). Durante esta fase se controlan estrictamente los tiempos de exposición definidos para el estudio, correspondientes a 8 h, 16 h y 24 h. En la **Figura 11** se ilustra la curva el proceso aplicado para cada una de las muestras y de esta manera tener una mejor aclaración sobre las exposiciones en diferentes tiempos.

**Figura 11**

*Curva de proceso de exposición*



**Nota.** La curva de proceso presentada es aplicada para ambas muestras con exposición a 8h, por tal motivo para la exposición de 16 h y 24 h, el tiempo es el factor que varía dentro de la curva.

### 3.5.3 Proceso de Lavado y Secado

Una vez culminado el proceso de exposición en los diferentes tiempos se procede a realizar el lavado y secado de las muestras (**ver Anexo 3**) bajo las directrices de la norma ISO 6330, en el cual se utilizó 6 ml de detergente por par de muestras de 8, 16 y 24 horas respectivamente y agua a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C, se realizó un lavado durante 58 minutos (**ver Figura 12**) siendo un lavado de tipo estándar para ropa de trabajo. Finalmente, se procede al secado utilizando la secadora de tambor tomando en cuenta los parámetros de la **Tabla 5**.

#### Figura 12

*Lavado del denim*



### 3.5.4 Proceso de Ensayo de Abrasión

Para llevar a cabo el ensayo de resistencia a la abrasión en condiciones de laboratorio se aplicó la norma ISO 12947-2 mediante el uso del equipo Martindale, y así evaluar el comportamiento de los tejidos frente al desgaste por fricción constante. El método se basa del frote de un material abrasivo normalizado como base, con las probetas textiles de 38 mm de diámetro, montadas en un sistema de movimiento rotativo. Asimismo, se aplicó la respectiva masa de carga

sobre la probeta según el tipo de tejido analizado. Durante la práctica del ensayo, las condiciones ambientales de laboratorio se mantuvieron controladas, con una temperatura de  $20 \pm 2$  °C y una humedad relativa de  $65 \pm 2\%$ , de esta manera garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados en la evaluación de la resistencia a la abrasión del tejido denim 100% algodón.

### A) Troquelado Para Testigos

**Figura 13**

*Troquelado de testigo base*



- Es un material abrasivo de testigo, el cual es aplicado bajo la normativa ISO 12947-2, esto servirá como base de fricción durante el movimiento del brazo mecánico del Martindale.

### B) Colocación de Testigos Bases

**Figura 14**

*Colocación de testigos bases*



- Colocación de los filtros y el material abrasivo con la ayuda de las pesas de 2.5 kg  $\pm 0.5$  y luego asegurar los aditamentos con los anillos de sujeción asegurando que exista uniformidad en todos los campos de trabajo, mismos que también se puede observar en el **Anexo 4**.

### C) Troquelado de Probetas

**Figura 15**

*Muestras de probetas del tejido*

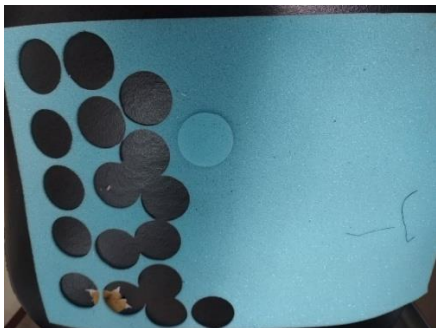


- Las muestras de probetas fueron troqueladas con precisión con la cortadora circular de 38 mm de diámetro, conforme a las especificaciones de la norma ISO 12947-2, de esta manera su tamaño facilite la sujeción en el equipo Martindale.

### D) Troquelado de la Esponja Para las Probetas

**Figura 16**

*Probeta esponja base*



- Las esponjas son troqueladas de acuerdo a los moldes estandarizados, asegurando que exista dimensiones uniformes para cada frote, y de esta manera garantizar una correcta colocación y presión uniforme en el sistema de ensayo.

### **E) Colocación de las Esponjas y Probetas**

**Figura 17**

*Ajuste de probetas en el armazón*



La esponja base y la probeta textil es colocada conjuntamente en cada uno de los armazones, verificando una correcta sujeción para posibles desplazamientos durante el movimiento abrasivo sobre la superficie del tejido.

### **F) Configuración e Inicio del Ensayo**

**Figura 18**

*Probetas ajustadas e inicio del ensayo*



- Antes de iniciar el ensayo, se verifica el correcto ajuste de las probetas y la adecuada aplicación de la presión ejercida por las pesas de 12 kPa, asegurando una carga uniforme y controlada en cada posición de trabajo, de esta manera se cumpla con cabalidad los parámetros establecidos por la norma ISO 12947-2.

### 3.5.5 Proceso de ensayo de tracción

Para el proceso del ensayo de la resistencia a la tracción, se aplica los lineamientos establecidos en la norma ISO 13934-2, donde establece el método de ensayos mediante mordazas para tejidos planos. Entonces, se prepararon cinco probetas en sentido de la urdimbre y cinco en sentido de la trama de acuerdo a las variables preestablecidas, las mismas que tienen una dimensión aproximada de 150 mm x 100 mm. El equipo debe tener una velocidad constante de 100 mm/min para la uniformidad de resultados, utilizando mordazas T27 mismas que se ajustan a la norma.

#### A) Corte de las Probetas

#### Figura 19

*Corte de probetas denim 100% algodón*



- Las probetas de denim 100% algodón fueron cortadas de acuerdo a las dimensiones de la norma ISO 13934-2, de 150 mm x 100 mm, en ambos sentidos de la tela

(urdimbre y trama), de esta manera asegurando que exista una correcta sujeción en las mordazas del dinamómetro.

## B) Preparación y Ajuste del Dinamómetro

**Figura 20**

*Calibración del Dinamómetro*



- Se ajustan las mordazas tipo T27 en el dinamómetro, corroborando que el equipo este calibrado y funcionando, de esta forma haciendo el cumplimiento de la norma ISO 13934-2, previo a la colocación de las probetas de ensayo.

## C) Configuración del Dinamómetro

**Figura 21**

*Configuración y control del ensayo*



- Se configura el software de mando del dinamómetro, ingresando datos de acuerdo al número y sentido de la muestra, asegurando un registro ordenado y confiable sobre el ensayo de tracción conforme a la norma ISO 13934-2.

#### **D) Ensayo de la Resistencia a la Tracción**

##### **Figura 22**

*Inicio del ensayo de la resistencia a la tracción*



- Finalmente, se procede la activación del dinamómetro con una carga de tracción uniaxial constante sobre el material, hasta alcanzar el punto de rotura del tejido, mismo que se detiene de manera automática evidenciando los resultados de la resistencia conforme a la norma ISO 13934-2.

#### **3.5.6 Evaluación del Cambio de Color**

Posterior al ensayo de abrasión mediante el equipo Martindale, se llevó a cabo la evaluación del cambio de color de las muestras de tejido denim 100% algodón, con la finalidad de conocer y analizar la variabilidad cromática producida como consecuencia directa del frote mecánico. El análisis es apelado a los lineamientos establecidos en la norma ISO 105 A02:1993,

la cual se basa en la escala de grises la determinar de manera objetiva el cambio de color en materiales textiles.

La evaluación se aplicó a ocho muestras **Figura 23**, correspondientes a 4 muestras de denim 12 onzas y cuatro muestras de denim 14 onzas. Cada muestra fue comparada con su muestra de referencia, de acuerdo a la escala de grises normalizada de 1 a 5, donde los valores más bajos muestran un cambio de color severo y los valores altos con variación mínima de color. Para la evaluación se utilizó el espectrofotómetro X-Rite, misma que garantiza la precisión y reproducibilidad en la medición del cambio cromático debido al desgaste superficial del tejido. El procedimiento para la evaluación del cambio de color se desarrolló de la siguiente manera.

- a) Encender el computador y el espectrofotómetro.
- b) Selección del software a utilizar.
- c) Calibración del equipo bajo las especificaciones y recomendaciones del fabricante.
- d) Realizar la medición de las muestras.
- e) Registrar y almacenar los datos obtenidos del análisis.
- f) Determinar el cambio de color en cada muestra analizada.

### **Figura 23**

*Probetas sometidas a la abrasión*



Fuente: Propia

En la **Tabla 8** se muestra los rangos de tolerancia acoplados a la escala de grises, así como los valores de diferencia total del color ( $\Delta E$ ), mismos que sirven para los análisis de resultados obtenidos del equipo espectrofotómetro. Esta información permite realizar la comparación del cambio de color observado de las distintas probetas mencionadas.

**Tabla 8**

*Tolerancia de la norma ISO 105 A02 – Escala de grises*

<b>ISO 105 A02</b>		
<b>Escala de grises</b>	<b><math>\Delta E</math> (Delta E)</b>	<b>Tolerancia</b>
<b>5</b>	0.0	0.20
<b>4–5</b>	0.8	0.20
<b>4</b>	1.7	0.30
<b>3–4</b>	2.5	0.35
<b>3</b>	3.4	0.40
<b>2–3</b>	4.8	0.50
<b>2</b>	6.8	0.60
<b>1–2</b>	9.6	0.70
<b>1</b>	13.6	1.00

Fuente: Adaptado de (Mason, 2003)

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 4.1 Resultados

En este apartado se presentan y analizan los resultados de los ensayos de resistencia a la abrasión y a la tracción realizados en el tejido denim 100% algodón, conforme a las normas ISO 12947-2 e ISO 13934-2 respectivamente. Adicionalmente, se evalúa la variación del color del material posterior al ensayo de abrasión, mediante el uso del espectrofotómetro y la escala de grises, de acuerdo con la norma ISO 105 A02. Los datos obtenidos se procesan y presentan en tablas y gráficos comparativos, lo que permite una interpretación precisa de los cambios mecánicos, estéticos y del comportamiento del color del tejido.

##### 4.1.1 Resistencia a la Abrasión

Para el registro de los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la abrasión realizado mediante el equipo Martindale, se presenta en la **Tabla 9** la codificación asignada a las muestras de ambos tejidos. Asimismo, se especifica la norma aplicada (ISO 12947-2), junto con los parámetros necesarios para el ensayo, los cuales contribuyen a una adecuada interpretación y comparación de resultados.

**Tabla 9**

*Caracterización del ensayo de resistencia a la abrasión*

Ítem	Descripción
Fecha del ensayo	2025-12-01
Ensayo solicitado	<ul style="list-style-type: none"><li>- Determinación de la resistencia a la abrasión de tejidos por el método Martindale.</li><li>- Determinación de la rotura de la probeta</li></ul>
Norma del ensayo	ISO 12947-2:2016

---

Codificación de muestras	- 1CnM1-1CnM2-1CnM3 - 2CnM1-2CnM2-2CnM3
Descripción del material	- Denim 100 % algodón (12 oz) - Denim 100 % algodón (14 oz)
Cantidad de muestras	3 (12 oz) y 3 (14 oz)
Equipo utilizado	- Martindale: Modelo Midi-Martindale
Especificaciones del ensayo	- Material de la muestra: Denim 100 % algodón - Número de probetas: 3 por cada condición - Dimensión de probetas: 38 mm - Presión aplicada: 12 kPa

---

Una de las características que se observa en la tabla anterior, es el peso aplicado para las probetas que es de 12 kPa a cada una de las probetas correspondientes a ambos tejidos, de igual manera se observa algunos aspectos, como el equipo utilizado, numero de probetas por cada condición del estudio (3) y las dimensiones de la probeta. Asimismo, uno de los aspectos más importantes es la codificación la cual se detalla a continuación:

- 1CnM1-1CnM2-1CnM3: Denim 12 oz desde la muestra 1 hasta la muestra 3
- 2CnM1-2CnM2-2CnM3: Denim 14 oz desde la muestra 1 hasta la muestra 3

Una vez establecidos los parámetros del ensayo de resistencia a la abrasión, la **Tabla 10** presenta los valores individuales aplicados a cada una de las probetas, correspondientes a cuatro condiciones de exposición al diésel “fósil”: 0 h, 8 h, 16 h y 24 h. Todas las muestras fueron sometidas a un total de 30 000 ciclos de abrasión, sin mostrar rotura ni daño significativo en su estructura. Los resultados obtenidos pueden observarse con mayor detalle en el **Anexo 5**.

**Tabla 10***Resultados de la evaluación de resistencia a la abrasión del denim 100 % algodón (12 oz)*

<b>N.º</b>	<b>Codificación de la muestra</b>	<b>Tiempo de exposición al diésel “fósil”</b>	<b>Número de ciclos</b>
<b>1</b>	1C <sub>0</sub> M1	0 h	30 000
<b>2</b>	1C <sub>8</sub> M1	8 h	30 000
<b>3</b>	1C <sub>16</sub> M1	16 h	30 000
<b>4</b>	1C <sub>24</sub> M1	24 h	30 000
<b>Media aritmética</b>			<b>30 000</b>
<b>CV (%)</b>			<b>0,0</b>

Fuente: Propia

Posteriormente, la **Tabla 11** nos indica los valores empleados en la evaluación de la resistencia a la abrasión, correspondientes a las muestras del tejido de 14 onzas, las cuales fueron ensayadas bajo los mismos parámetros y condiciones previamente establecidas.

**Tabla 11***Resultados de la evaluación de resistencia a la abrasión del denim 100 % algodón (14 oz)*

<b>N.º</b>	<b>Codificación de la muestra</b>	<b>Tiempo de exposición al diésel “fósil”</b>	<b>Número de ciclos</b>
<b>1</b>	2C <sub>0</sub> M1	0 h	30 000
<b>2</b>	2C <sub>8</sub> M1	8 h	30 000
<b>3</b>	2C <sub>16</sub> M1	16 h	30 000
<b>4</b>	2C <sub>24</sub> M1	24 h	30 000
<b>Media aritmética</b>			<b>30 000</b>
<b>CV (%)</b>			<b>0,0</b>

Nota: La tabla muestra de manera general los datos correspondientes a las condiciones del ensayo y el número de ciclos aplicados, sin embargo, no presenta cambios ni alteraciones con respecto a la rotura, a su vez existen alteraciones en el degradado de color como se observa en la **Figura 23**.

#### 4.1.2 Resistencia a la Tracción

Para la evaluación de la resistencia a la tracción se emplearon muestras de tejido denim 100% algodón, que corresponden a dos gramajes distintos (12 y 14 onzas), las cuales presentan características similares en cuanto a su composición fibrosa y tipo de ligamento, permitiendo un análisis bajo condiciones homogéneas. La **Tabla 12** detalla las especificaciones técnicas de las muestras, así como los parámetros técnicos del equipo de tracción, incluyendo las codificaciones de las probetas y la norma del ensayo (ISO 13934-2).

**Tabla 12**

*Ficha informativa para la evaluación de la resistencia a la tracción del denim 100 % algodón*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Fecha del ensayo	2025-11-24
Ensayo solicitado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propiedades del tejido denim frente a la tracción.</li> <li>- Determinación de la fuerza máxima y el alargamiento a la fuerza máxima mediante el método de agarre</li> </ul>
Norma del ensayo	ISO 13934-2
Codificación de muestras	Material y Exposición
1C <sub>0</sub> M1L---M5/1C <sub>0</sub> M1T---M5	Denim 12 oz con 0 h de exposición
1C <sub>8</sub> M1L---M5/1C <sub>8</sub> M1T---M5	Denim 12 oz con 8 h de exposición
1C <sub>16</sub> M1L---M5/1C <sub>16</sub> M1T---M5	Denim 12 oz con 16 h de exposición
1C <sub>24</sub> M1L---M5/1C <sub>24</sub> M1T---M5	Denim 12 oz con 24 h de exposición
2C <sub>0</sub> M1L---M5/2C <sub>0</sub> M1T---M5	
2C <sub>8</sub> M1L---M5/2C <sub>8</sub> M1T---M5	Denim 14 oz con 0 h de exposición
2C <sub>16</sub> M1L---M5/2C <sub>16</sub> M1T---M5	Denim 14 oz con 8 h de exposición
2C <sub>24</sub> M1L---M5/2C <sub>24</sub> M1T---M5	Denim 14 oz con 16 h de exposición
	Denim 14 oz con 24 h de exposición
Descripción del material	Tejido denim 100 % algodón
Gramaje del tejido	12 onzas / 14 onzas

Cantidad de material	2,5 metros por gramaje
Equipo utilizado	Dinamómetro modelo T27
Número de probetas	5 en urdimbre y 5 en trama por cada exposición
Dimensión de probetas	150 mm (largo) × 100 mm (ancho)
Velocidad de ensayo	50 mm/min
Separación inicial de mordazas	100 mm
Pretensión aplicada	2 N
Célula de carga	5 000 N

Previo a la presentación de los resultados de resistencia a la tracción, la información contenida en la **Tabla 12** indica que los parámetros del ensayo se mantuvieron para ambos materiales, independientemente a los tiempos de exposición. A continuación, se detalla la codificación asignada a las probetas:

**1C0M1L–M5 / 1C0M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 12 oz con 0 h de exposición al diésel “fósil”, ensayado en sentido de urdimbre (L) 5 probetas y trama (T) 5 probetas.

**1C8M1L–M5 / 1C8M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 12 oz con 8 h de exposición al diésel “fósil”, evaluado en urdimbre y trama.

**1C16M1L–M5 / 1C16M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 12 oz con 16 h de exposición al diésel “fósil”, ensayado en ambos sentidos del tejido.

**1C24M1L–M5 / 1C24M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 12 oz con 24 h de exposición al diésel “fósil”, evaluado en urdimbre y trama.

**2C0M1L–M5 / 2C0M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 14 oz con 0 h de exposición al diésel “fósil”, ensayado en sentido longitudinal y transversal.

**2C8M1L–M5 / 2C8M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 14 oz con 8 h de exposición al diésel “fósil”, evaluado en ambos sentidos del tejido.

**2C16M1L–M5 / 2C16M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 14 oz con 16 h de exposición al diésel “fósil”, ensayado en urdimbre y trama.

**2C24M1L–M5 / 2C24M1T–M5:** Denim 100 % algodón de 14 oz con 24 h de exposición al diésel “fósil”, evaluado en ambos sentidos del tejido.

Las tablas que se presentan a continuación corresponden a la recopilación de los datos obtenidos en los ensayos de la resistencia a la tracción del tejido denim 100% algodón de 12 oz, evaluado en ambos sentidos del tejido (urdimbre y trama), y bajos los distintos tiempos de exposición (0 h, 8 h, 16 h y 24 h), En cada tabla se muestra los valores correspondientes a la fuerza máxima alcanzada (N) y elongación a la fuerza máxima (%), registrados en el momento de la rotura de cada probeta, conforme a los parámetros de la norma ISO 13934-2.

Como primera parte de esta esta recopilación de datos se presenta la **Tabla 13**, en el cual se puede evidenciar una información sintetizada del ensayo de la resistencia a la tracción, en dicha tabla se puede apreciar la fuerza máxima de rotura, la elongación máxima, esto tanto en el sentido longitudinal y transversal.

**Tabla 13**

*Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (0 h)*

<b>Sentido</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	1C <sub>0</sub> M1L	1042,33	33,77
	1C <sub>0</sub> M2L	1024,44	36,42
	1C <sub>0</sub> M3L	1087,82	37,12
	1C <sub>0</sub> M4L	1030,65	36,49
	1C <sub>0</sub> M5L	1095,24	36,49
<b>Muestra</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Transversal (Trama)</b>	1C <sub>0</sub> M1T	520,29	21,02
	1C <sub>0</sub> M2T	437,77	19,85
	1C <sub>0</sub> M3T	487,9	20,24
	1C <sub>0</sub> M4T	479,43	20,61
	1C <sub>0</sub> M5T	463,47	20,6

Seguidamente, en la **Tabla 14** se presenta de manera integrada los resultados del ensayo de resistencia a la tracción correspondientes al tejido denim de 12 oz expuestos al diésel “fósil” durante 8 horas, bajo las mismas condiciones de ensayo previamente establecidos. En esta tabla de incluye de forma conjunta los valores obtenidos en los sentidos de la urdimbre y la trama, lo que permite sintetiza la información y facilitar una comparación directa del comportamiento mecánico del tejido en ambas direcciones.

**Tabla 14**

*Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (8 h)*

<b>Sentido</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	1C <sub>8</sub> M1L	1036,73	35,09
	1C <sub>8</sub> M2L	956,95	33,23
	1C <sub>8</sub> M3L	955,35	33,77
	1C <sub>8</sub> M4L	973,54	33,52
	1C <sub>8</sub> M5L	1008,11	33,87
<b>Sentido</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Transversal (Trama)</b>	1C <sub>8</sub> M1T	393,93	18,08
	1C <sub>8</sub> M2T	391,36	18,21
	1C <sub>8</sub> M3T	366,4	18,38
	1C <sub>8</sub> M4T	364,94	18,51
	1C <sub>8</sub> M5T	383,51	18,89

En la

**Tabla 15** se presentan de forma conjunta resultados del ensayo de tracción correspondientes al tejido denim de 12 oz sometida a 16 horas de exposición al diésel “fósil”, manteniendo constante los parámetros del ensayo. En esta tabla se incluyen los datos obtenidos en los sentidos de la urdimbre y de la trama, lo que permite analizar el comportamiento del material en ambas direcciones.

**Tabla 15***Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (16 h)*

<b>Sentido</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	1C <sub>16</sub> M1L	995,09	31,05
	1C <sub>16</sub> M2L	983,72	32,14
	1C <sub>16</sub> M3L	1029,24	32,74
	1C <sub>16</sub> M4L	1001,44	30,69
	1C <sub>16</sub> M5L	1046,23	31,73
<b>Sentido</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Transversal (Trama)</b>	1C <sub>16</sub> M1T	434,05	19,31
	1C <sub>16</sub> M2T	436,89	18,63
	1C <sub>16</sub> M3T	428,48	18,5
	1C <sub>16</sub> M4T	446,71	19,31
	1C <sub>16</sub> M5T	429,25	18,51

Por último, la **Tabla 16** posee los valores registrados en el ensayo de resistencia a la tracción del tejido denim de 12 oz tras 24 horas de exposición al diésel “fósil”, manteniendo los parámetros del ensayo. Del mismo modo que en las tablas anteriores, se presentan de manera integrada los datos obtenidos en el sentido de la urdimbre y de la trama, esto para una interpretación global del tejido bajo la condición de exposición planteada.

**Tabla 16***Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 12 oz (24 h)*

<b>Sentido</b>	<b>Código de las muestras</b>	<b>Resistencia tracción (N)</b>	<b>Elongación (%)</b>
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	1C <sub>24</sub> M1L	1068,64	33,48
	1C <sub>24</sub> M2L	1026,36	33,49
	1C <sub>24</sub> M3L	978,84	33,31
	1C <sub>24</sub> M4L	976,45	33,32
	1C <sub>24</sub> M5L	1026,55	33,69

Muestra	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Transversal (Trama)</b>	1C <sub>24</sub> M1T	357,8	18,8
	1C <sub>24</sub> M2T	373,42	18,71
	1C <sub>24</sub> M3T	336,44	18,04
	1C <sub>24</sub> M4T	379,8	19,05
	1C <sub>24</sub> M5T	374,66	18,68

A partir de este apartado, se presentan los resultados correspondientes al tejido denim de 14 oz, con el fin de analizar su comportamiento mecánico bajo condiciones de ensayo establecido. En este contexto, la **Tabla 17** presenta los resultados del ensayo de resistencia a la tracción obtenidas para dicho tejido, considerando las distintas condiciones de evaluación aplicadas. En la tabla se integran los valores registrados en el sentido de la urdimbre y trama bajo aspectos como fuerza y elongación máximas antes de la rotura del material.

**Tabla 17**

*Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (0 h)*

Sentido	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	2C <sub>0</sub> M1L	1082,45	37,92
	2C <sub>0</sub> M2L	1080,91	38,09
	2C <sub>0</sub> M3L	1017,13	36,67
	2C <sub>0</sub> M4L	1078,48	38,3
	2C <sub>0</sub> M5L	1104,05	38,81
Muestra	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Transversal (Trama)</b>	2C <sub>0</sub> M1T	685,54	21,43
	2C <sub>0</sub> M2T	717,25	22,28
	2C <sub>0</sub> M3T	678	21,28
	2C <sub>0</sub> M4T	721,5	21,91
	2C <sub>0</sub> M5T	674,5	21,48

En la **Tabla 18** se exponen los resultados obtenidos del ensayo de tracción aplicado al tejido denim de 14 oz tras 8 horas de exposición al diésel “fósil”, con el objetivo de identificar

posibles variaciones iniciales en sus resistencia y elongación. Para ello, los datos de urdimbre y trama se presentan de manera sintetizada para facilitar su comparación.

**Tabla 18**

*Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (8 h)*

Sentido	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	2C <sub>8</sub> M1L	1070,42	36,13
	2C <sub>8</sub> M2L	1036,95	37,08
	2C <sub>8</sub> M3L	986,54	36,03
	2C <sub>8</sub> M4L	1061,28	36,28
	2C <sub>8</sub> M5L	1012,4	35,16
Muestra	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Transversal (Trama)</b>	2C <sub>8</sub> M1T	598,56	19,72
	2C <sub>8</sub> M2T	694,17	21,39
	2C <sub>8</sub> M3T	594,79	20,19
	2C <sub>8</sub> M4T	698,01	20,57
	2C <sub>8</sub> M5T	719,47	21,12

Los resultados obtenidos a las 16 horas de exposición al diésel “fósil” para el tejido denim de 14 oz se encuentran recopilado en la **Tabla 19**. En esta se registran los valores de la fuerza máxima y elongación pertenecientes a este ensayo, incluyendo de manera conjunta datos correspondientes a la urdimbre y la trama, permitiendo examinar el comportamiento del tejido bajo este tiempo de exposición.

**Tabla 19**

*Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (16 h)*

Sentido	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	2C <sub>16</sub> M1L	1093,34	34,7
	2C <sub>16</sub> M2L	1046,17	34,78
	2C <sub>16</sub> M3L	1068,38	34,82
	2C <sub>16</sub> M4L	1028,75	33,49
	2C <sub>16</sub> M5L	1031,28	33,95

Muestra	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Transversal (Trama)</b>	2C <sub>16</sub> M1T	585,95	19,05
	2C <sub>16</sub> M2T	568,8	19,05
	2C <sub>16</sub> M3T	557,92	19,55
	2C <sub>16</sub> M4T	619,17	19,76
	2C <sub>16</sub> M5T	618,76	19,63

Por último, con el fin de evaluar el impacto del mayor tiempo de exposición en este estudio, se presenta la **Tabla 20** en donde se hallan los resultados del ensayo a la tracción aplicado al tejido denim de 14 oz luego de 24 horas en contacto con el diésel “fósil”.

**Tabla 20**

*Resultados de tracción en urdimbre y trama del denim 14 oz (24 h)*

Sentido	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Longitudinal (Urdimbre)</b>	2C <sub>24</sub> M1L	1091,27	37,33
	2C <sub>24</sub> M2L	1062,23	37,55
	2C <sub>24</sub> M3L	1071,53	36,38
	2C <sub>24</sub> M4L	983,91	35,28
	2C <sub>24</sub> M5L	1068,41	36,08
Muestra	Código de las muestras	Resistencia tracción (N)	Elongación (%)
<b>Transversal (Trama)</b>	2C <sub>24</sub> M1T	610,21	20,35
	2C <sub>24</sub> M2T	578,44	19,97
	2C <sub>24</sub> M3T	603,28	19,98
	2C <sub>24</sub> M4T	674,81	19,81
	2C <sub>24</sub> M5T	608,91	19,46

#### 4.1.3 Normalidad de datos

Para el tratamiento estadístico de los resultados de fuerza máxima a la rotura, se evaluó la normalidad de los datos experimentales a partir de cinco como número de muestras, tanto en el sentido de la urdimbre como de la trama, conforme a la norma ISO 13934-1. En base con ello, la verificación de la distribución normal se realizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, adoptando

como criterio de aceptación un valor  $p > 0.05$ , correspondiente a un nivel de confianza del 95 %, el cual permitió validar la aplicación de análisis estadísticos.

**a) Fuerza de tracción en sentido urdimbre de tejido denim 12 onzas (1M0L – 1M24L)**

Los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk, como se observa en la *Figura 24*, en función del tamaño reducido de la muestra, muestran valores de  $p > 0.05$  en todas las condiciones analizadas, lo que confirma la normalidad de los datos correspondientes a la fuerza de tracción en sentido longitudinal. De manera complementaria, las pruebas de Anderson-Darling, Lilliefors y Jarque-Bera respaldan este comportamiento, evidenciando una dispersión consistente en los datos. En conjunto, estos resultados indican una adecuada homogeneidad en la resistencia a la tracción en urdimbre, reflejando estabilidad mecánica del tejido bajo las condiciones evaluadas.

**Figura 24**

*Normalidad de la fuerza de tracción del tejido denim de 12 oz(urdimbre)*

Tests for normal distribution				
	1M0L	1M8L	1M16L	1M24L
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,8459	0,8826	0,9311	0,893
<b>p(normal)</b>	0,182	0,3213	0,6037	0,3727
<b>Anderson-Darling A</b>	0,4207	0,3379	0,2625	0,3439
<b>p(normal)</b>	0,1846	0,3272	0,5221	0,3141
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,1989	0,37	0,6185	0,3555
<b>Lilliefors L</b>	0,2613	0,2392	0,2466	0,2286
<b>p(normal)</b>	0,321	0,4593	0,4102	0,533
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,3337	0,4426	0,4059	0,5427
<b>Jarque-Bera JB</b>	0,7164	0,5951	0,5316	0,3801
<b>p(normal)</b>	0,6989	0,7427	0,7666	0,8269
<b>p(Monte Carlo)</b>	0,2227	0,3838	0,4961	0,7447

**b) Fuerza de tracción en sentido trama de tejido denim 12 onzas (1M0L – 1M24L)**

En la *Figura 25*, correspondiente al análisis transversal, los valores de  $p(\text{normal})$  obtenidos a partir de la prueba de Shapiro-Wilk son superiores a 0.05 en todas las condiciones estudiadas, lo que afirma que los datos presentan un comportamiento normal. Asimismo, se aprecia que en los demás enfoques estadísticos este valor sigue siendo aceptable, respaldando la confiabilidad de las mediciones de la resistencia a la tracción en el sentido de la trama para el tejido de 12 oz.

## Figura 25

*Normalidad de la fuerza de tracción de tejido denim de 12 oz (trama)*

Tests for normal distribution				
	1M0T	1M8T	1M16T	1M24T
N	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,9924	0,8562	0,8975	0,8659
p(normal)	0,9875	0,2148	0,3964	0,2503
Anderson-Darling A	0,1599	0,3834	0,3119	0,402
p(normal)	0,8867	0,2396	0,3892	0,2106
p(Monte Carlo)	0,9624	0,267	0,4439	0,2415
Lilliefors L	0,1699	0,2406	0,2028	0,2946
p(normal)	0,9088	0,4493	0,7176	0,1673
p(Monte Carlo)	0,9282	0,441	0,7494	0,1824
Jarque-Bera JB	0,1684	0,6649	0,5998	0,7323
p(normal)	0,9192	0,7172	0,7409	0,6934
p(Monte Carlo)	0,9525	0,2846	0,3803	0,1971

### c) Fuerza de tracción en sentido urdimbre de tejido denim 14 onzas (2M0L – 2M24L)

Para el tejido denim de 14 oz en su sentido longitudinal (ver **Figura 26**), la prueba de Shapiro-Wilk arroja valores de p superiores a 0.05 en todas las condiciones evaluadas, indicando así una tendencia general hacia la normalidad de los datos. De manera complementaria se puede mencionar que, en algunos métodos como Lilliefors y Anderson-Darling, muestran algunos valores inferiores a 0.05, no obstante, en el método de Jarque-Bera los resultados de p(normal) son considerados aceptables superando el umbral mínimo.

## Figura 26

*Normalidad de la fuerza de tracción de tejido denim de 14 oz (urdimbre)*

Tests for normal distribution				
	2M0U	2M8U	2M16U	2M24U
N	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,8084	0,9511	0,9068	0,7881
p(normal)	0,09465	0,7452	0,4485	0,06458
Anderson-Darling A	0,5917	0,2024	0,2874	0,6152
p(normal)	0,05586	0,7415	0,4572	0,04733
p(Monte Carlo)	0,0497	0,8338	0,5277	0,0454
Lilliefors L	0,3714	0,1886	0,2072	0,3648
p(normal)	0,02429	0,8104	0,6862	0,02925
p(Monte Carlo)	0,0247	0,8454	0,7057	0,0262
Jarque-Bera JB	1,023	0,4538	0,5442	1,265
p(normal)	0,5995	0,797	0,7618	0,5313
p(Monte Carlo)	0,0829	0,6247	0,4737	0,0426

#### d) Fuerza de tracción en sentido trama de tejido denim 14 onzas (2M0L – 2M24L)

Como evidencia la **Figura 27**, la prueba de normalidad del sentido transversal bajo el método de Shapiro-Wilk presentan valores de p superiores a 0.05 confirmando una confiabilidad de los datos del 95 %. A pesar de ello, se puede observar ligeras desviaciones en los otros métodos, sin embargo, de manera general existe una concordancia entre los valores p en los distintos métodos estadísticos sugiriendo una distribución normal de los datos.

#### Figura 27

*Normalidad de la fuerza de tracción de tejido denim de 14 oz (trama)*

Tests for normal distribution				
	2M0T	2M8T	2M16T	2M24T
N	5	5	5	5
Shapiro-Wilk W	0,8306	0,8059	0,8776	0,8451
p(normal)	0,1406	0,09052	0,2984	0,1796
Anderson-Darling A	0,4527	0,5264	0,3376	0,5061
p(normal)	0,1467	0,08847	0,3278	0,1021
p(Monte Carlo)	0,1694	0,0936	0,3642	0,1131
Lilliefors L	0,2699	0,3113	0,2454	0,3547
p(normal)	0,2751	0,1152	0,418	0,03851
p(Monte Carlo)	0,2813	0,1259	0,4117	0,0363
Jarque-Bera JB	0,7367	0,7456	0,5879	0,8205
p(normal)	0,6919	0,6888	0,7453	0,6635
p(Monte Carlo)	0,1884	0,184	0,4088	0,1335

Finalizado el análisis de normalidad, se observa que, aunque algunas condiciones presentan valores inferiores a 0.05 en ciertos métodos complementarios, todos los datos cumplen con el criterio de normalidad según la prueba de Shapiro-Wilk, la cual se adoptó como método principal en este estudio debido a las condiciones previamente descritas.

#### 4.1.4 Análisis de la varianza

El estudio de la varianza de los datos es fundamenta, ya que permite comprender que tan dispersos o concentrados están los valores respecto a la media. Una varianza baja indica que los datos tienden a agruparse cerca del promedio, mientras que una varianza alta refleja mayor una

mayor dispersión. Por ello, el análisis de la varianza se realiza mediante el método ANOVA haciendo uso del software PAST 4.

**a. Varianza de la fuerza de tracción tejido denim 12 onzas sentido longitudinal**

Para este análisis, se presenta la **Figura 28**, en la cual se observa diferentes columnas que representan los datos del tejido de 12 oz bajo los distintos tiempos de exposición. Asimismo, se presentan aspectos como la media, máximos y mínimos, pero en este caso se dará más énfasis al coeficiente de variación, el cual, para las cuatro condiciones, es inferior al 4%. El mayor valor se registra en la exposición de 8 horas, con 3.58%. En base a esto, se puede afirmar que los datos correspondientes a la urdimbre no presentan una dispersión significativa respecto a la media.

**Figura 28**

*Varianza del tejido denim 12 oz (Urdimbre)*

Univariate statistics				
	1M0L	1M8L	1M16L	1M24L
N	5	5	5	5
Min	1024,44	955,35	983,72	976,45
Max	1095,24	1036,73	1046,23	1068,64
Sum	5280,48	4930,68	5055,72	5076,84
Mean	1056,096	986,136	1011,144	1015,368
Std. error	14,79488	15,81276	11,53791	17,22306
Variance	1094,442	1250,217	665,6167	1483,168
Stand. dev	33,08236	35,35841	25,79955	38,51192
Median	1042,33	973,54	1001,44	1026,36
25 prcntil	1027,545	956,15	989,405	977,645
75 prcntil	1091,53	1022,42	1037,735	1047,595
Skewness	0,4729602	0,7925107	0,5687666	0,3371756
Kurtosis	-2,96992	-1,254711	-1,613602	-1,091191
Geom. mean	1055,684	985,6343	1010,882	1014,786
Coeff. var	3,132514	3,585551	2,551521	3,792903

**b. Varianza de la fuerza de tracción tejido denim 12 onzas sentido transversal**

Asimismo, se presenta la **Figura 29**, en la cual se observan diversos datos para cada una de las condiciones. Sin embargo, en esta ocasión se dará mayor énfasis a los valores del coeficiente de variación (CV), donde se aprecia un comportamiento distinto al de análisis previo. Los valores del CV son más variados, alcanzando un máximo de 6.38% en los datos sin exposición al diésel “fósil” y un mínimo de 1.69% en la tela expuesta durante 16 horas. A pesar de estas diferencias, todos los valores se encuentran dentro de un rango considerado aceptables de variación.

## Figura 29

*Varianza del tejido denim 12 oz (trama)*

Univariate statistics				
	1M0T	1M8T	1M16T	1M24T
N	5	5	5	5
Min	437,77	364,94	428,48	336,44
Max	520,29	393,93	446,71	379,8
Sum	2388,86	1900,14	2175,38	1822,12
Mean	477,772	380,028	435,076	364,424
Std. error	13,63417	6,112178	3,295017	7,902869
Variance	929,4532	186,7936	54,28568	312,2767
Stand. dev	30,48694	13,66724	7,367882	17,67135
Median	479,43	383,51	434,05	373,42
25 prcnil	450,62	365,67	428,865	347,12
75 prcnil	504,095	392,645	441,8	377,23
Skewness	0,1613312	-0,2907725	1,140531	-1,266177
Kurtosis	0,5094695	-2,97357	1,067261	0,8266892
Geom. mean	476,995	379,8305	435,0265	364,0722
Coeff. var	6,381064	3,596378	1,69347	4,849119

### c. Varianza de la fuerza de tracción tejido denim 14 onzas sentido longitudinal

Al analizar la **Figura 30**, se evidencia una notable similitud entre los resultados del tejido de 12 oz en el sentido longitudinal. Los valores del coeficiente de variación (CV) para el tejido de 14 oz muestran homogeneidad, ya que se encuentran entre 2.58 % y 3.98 %, indicando que las diferencias entre ellos son mínimas. De manera general, los datos correspondientes a las distintas condiciones no presentan una dispersión significativa respecto a la media.

## Figura 30

*Varianza del tejido denim 14 oz (urdimbre)*

Univariate statistics				
	2M0L	2M8L	2M16L	2M24L
N	5	5	5	5
Min	1017,13	986,54	1028,75	983,91
Max	1104,05	1070,42	1093,34	1091,27
Sum	5363,02	5167,59	5267,92	5277,35
Mean	1072,604	1033,518	1053,584	1055,47
Std. error	14,60595	15,48736	12,18324	18,53853
Variance	1066,669	1199,292	742,1561	1718,385
Stand. dev	32,6599	34,63079	27,24254	41,4534
Median	1080,91	1036,95	1046,17	1068,41
25 prcnil	1047,805	999,47	1030,015	1023,07
75 prcnil	1093,25	1065,85	1080,86	1081,4
Skewness	-1,649189	-0,4154013	0,8090108	-1,836384
Kurtosis	3,495327	-1,466262	-0,7902467	3,836967
Geom. mean	1072,198	1033,051	1053,304	1054,799
Coeff. var	3,044917	3,350768	2,585702	3,927483

**d. Varianza de la fuerza de tracción tejido denim 14 onzas sentido transversal**

Por último, al analizar la **Figura 31** se puede observar el comportamiento del tejido de 14 oz bajo los diferentes tiempos de exposición. Los valores del coeficiente de variación muestran una notable diferencia entre los distintos tiempos. La mayor dispersión se presenta en la exposición de 8 h con un CV de 9.00 %, mientras que la menor corresponde al tejido sin exposición con 3.21%. Asimismo, los CV para las exposiciones de 16 y 24 horas no poseen mucha variabilidad entre si con 4.77 % y 5.81% respectivamente. De manera general, pese a las diferencias, los datos se mantienen dentro de un rango aceptable.

**Figura 31**

*Varianza del tejido denim 14 oz (trama)*

Univariate statistics

	2M0T	2M8T	2M16T	2M24T
<b>N</b>	5	5	5	5
<b>Min</b>	674,5	594,79	557,92	578,44
<b>Max</b>	721,5	719,47	619,17	674,81
<b>Sum</b>	3476,79	3305	2950,6	3075,65
<b>Mean</b>	695,358	661	590,12	615,13
<b>Std. error</b>	9,988527	26,61884	12,59548	15,98621
<b>Variance</b>	498,8533	3542,812	793,2309	1277,794
<b>Stand. dev</b>	22,33502	59,52152	28,16435	35,74624
<b>Median</b>	685,54	694,17	585,95	608,91
<b>25 prcnil</b>	676,25	596,675	563,36	590,86
<b>75 prcnil</b>	719,375	708,74	618,965	642,51
<b>Skewness</b>	0,4901448	-0,4872669	0,09059853	1,470019
<b>Kurtosis</b>	-3,046916	-3,100971	-2,701874	3,115906
<b>Geom. mean</b>	695,0728	658,8132	589,5829	614,3251
<b>Coeff. var</b>	3,212018	9,004769	4,772649	5,811169

Como resumen del análisis de varianza, se puede afirmar que todos los datos de las diferentes condiciones, tanto del tejido de 12 oz como del de 14 oz, presentan un coeficiente de variación inferior al 10 %, lo cual se considera un rango aceptable de dispersión. Asimismo, se observa un patrón en los valores del CV, donde los relacionados con la urdimbre muestran una notable homogeneidad entre ellos, mientras que los asociados a la trama presentan diferencias

más marcadas entre las distintas condiciones estudiadas. Esto indica que, en general, los son consistentes y confiables, aunque la variabilidad es mayor en las mediciones de la trama.

## **4.2 Análisis de resultados**

En este apartado se presenta el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos a partir de los ensayos de resistencia a la tracción y a la abrasión realizados en tejidos denim 100 % algodón de 12 y 14 onzas, sometidos a diferentes tiempos de inmersión en diésel “fósil” (8, 16 y 24 horas). El propósito de este análisis es evaluar de manera objetiva la influencia que ejerce la exposición al diésel “fósil” sobre el comportamiento mecánico del tejido.

### **4.2.1 Análisis del ensayo a la abrasión y cambio de color**

De manera general, se puede afirmar que los tejidos denim de 12 y 14 oz presentan una adecuada resistencia a la abrasión, lo cual se evidencia en que, tras ser sometidos a 30 000 ciclos de frotamiento, no se observaron alteraciones significativas en su estructura ni roturas del material. En función de estos resultados, y considerado que el ensayo de abrasión no generó datos estructurales en los tejidos, se procedió a realizar el análisis del ensayo ISO 105 A02, correspondiente a la evaluación del cambio de color. Si bien no se evidenció deterioro físico del material después del ensayo de abrasión, se observó una variación cromática, lo que justifica la necesidad de un análisis colorimétrico detallado.

Por tal motivo, en la **Tabla 21** se presentan los resultados obtenidos mediante el espectrofotómetro los cuales permiten cuantificar el cambio de color tanto en el tejido denim de 12 oz como en el de 14 oz, proporcionando información relevante sobre su estabilidad colorimétrica frente a las condiciones de ensayo.

**Tabla 21***Resultados de cambio de color*

<b>Muestra</b>	<b><math>\Delta E_{cmc}</math></b>	<b>Cambio de color</b>
Denim 12 oz 0 h	21.03	1
Denim 12 oz 8 h	19.06	1
Denim 12 oz 16 h	19.19	1
Denim 12 oz 24 h	20.28	1
Denim 14 oz 0 h	17.53	1
Denim 14 oz 8 h	16.32	1
Denim 14 oz 16 h	13.30	1
Denim 14 oz 24 h	14.46	1

En la tabla se puede apreciar que, en todos los casos del ensayo, los valores de  $\Delta E_{cmc}$  son superiores a 13, lo que indica que todas las muestras presentan un cambio de color significativo en comparación con el estándar de referencia. En consecuencia, la columna correspondiente al cambio de color registra el valor 1 en todos los casos, el cual corresponde al nivel más bajo dentro de la escala de grises, confirmando la presencia de una variación cromática. Cabe mencionar que, para el presente análisis, se tomarán en cuenta exclusivamente los valores de  $\Delta E_{cmc}$ , debido a que este modelo de diferencia de color ofrece una mejor representación de la percepción visual.

Para el tejido denim de 12 oz, los valores de  $\Delta E_{cmc}$  Son más elevados en comparación con el tejido de mayor gramaje, se observa que, a las 0 horas de exposición posteriores al ensayo de abrasión, se registra un valor de  $\Delta E_{cmc} = 21.03$ , el más alto a nivel general, por lo que esta muestra presenta el mayor cambio cromático entre todas las condiciones de evaluar. Asimismo, tras 8 y 16 horas de exposición los valores de  $\Delta E_{cmc}$  son similares, con 19.06 y 19.19, lo que sugiere un comportamiento cromático relativamente estable en este intervalo de tiempo. Sin

embargo, en el análisis correspondiente a las 24 horas, se evidencia un incremento del cambio de color alcanzando un valor de  $\Delta E_{cmc}=20.28$ , lo cual indica una intensificación de la alteración cromática conforme aumenta el tiempo de exposición.

En el caso del tejido denim de 14 oz, se observa un comportamiento particular ya que el valor de  $\Delta E_{cmc}$ , Correspondiente a 0 horas de exposición es de 17.53, el cual disminuye progresivamente conforme aumenta el tiempo de inmersión, esta tendencia se mantiene hasta las 16 horas de exposición donde se registra un valor de 13.30. No obstante, al finalizar el ensayo se evidencia un ligero incremento del cambio de color alcanzando 14.46 tras 24 horas de inmersión. Este comportamiento observado en el tejido denim de 14 oz sugiere que los tejidos con mayor gramaje presentan una mayor resistencia al cambio de color, probablemente debido a una estructura más compacta en comparación con el tejido de menor gramaje.

#### **4.2.2. Análisis del ensayo a la tracción**

El análisis del ensayo de resistencia a la tracción para los tipos de tejidos utilizados (denim 100% algodón de 12 y 14 oz), realizado bajo los parámetros y condiciones establecidos en la norma ISO 13934-2, se desarrollan en dos secciones. En la primera se evalúa las muestras en función de la resistencia a la tracción, expresada como la fuerza máxima (N), mientras que en la segunda se analiza el porcentaje de elongación máxima alcanzado por el tejido antes de la rotura.

##### **A. Fuerza máxima de resistencia a la tracción**

En primera instancia, se presenta la **Tabla 22** en la cual se muestran los valores promedio de la fuerza máxima obtenida en el ensayo de tracción, tanto en el sentido longitudinal como transversal, para los distintos tiempos de exposición al diésel “fósil”. Estos resultados permiten comparar el comportamiento del tejido bajo diferentes condiciones de exposición, considerando el tipo de tejido y el sentido de ensayo.

**Tabla 22***Fuerza máxima de tracción*

Tiempo de exposición	Tejido de 12 oz		Tejido de 14 oz	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
0h	1056,09 N	477,77 N	1072,61 N	695,36 N
8 h	986,14 N	380,03 N	1033,52 N	661 N
16 h	1011,15 N	435,07 N	1053,58 N	590,12 N
24 h	1015,37 N	364,42 N	1055,47 N	615,13 N

Como se aprecia en la tabla, en el caso del tejido denim de 12 oz, en el sentido longitudinal se observa una disminución de la resistencia a la tracción tras 8 horas de exposición al diésel “fósil”, pasando de 1056.09 N en la condición sin exposición a 986.14 N. Esto sugiere que el tejido experimenta una pérdida de la resistencia, el cual puede asociarse al contacto con el diésel “fósil”. Sin embargo, para los tiempos de 16 y 24 horas la resistencia incrementa, alcanzando valores de 1011.15 N y 1015.37 N respectivamente, a pesar de ello, ninguno supera el valor del tejido sin exposición. En el sentido trasversal, la influencia del diésel “fósil” se manifiesta de manera más evidente, ya que la fuerza máxima disminuye progresivamente con el aumento del tiempo de exposición, desde 477.77 N en la condición inicial hasta 364.42 N tras 24 horas de inmersión, lo que representa una reducción aproximada del 23.73 %. Esta disminución indica que el tejido es más propenso a la acción del diésel “fósil” en este sentido, lo cual puede atribuirse a la menor densidad de la trama, título de hilo o al menor número de hilos.

Por otra parte, el tejido denim de 14 oz presenta, de manera general una mayor resistencia a la tracción en comparación con sustrato de menor gramaje. En el sentido longitudinal el valor bajo la primera condición es de 1072.61 N, el cual reduce después de la exposición a 8 horas hasta 1033.52 N. No obstante, al igual que en el tejido de 12 oz los valores después de una exposición

a 16 y 24 horas muestran una recuperación de 1053.58 N y 1055.47 N respectivamente. Al comparar los resultados obtenidos en los dos tejidos, se sugiere que el tejido denim de 14 oz posee mayor estabilidad frente a la exposición del diésel “fósil”.

El tejido de 14 oz en su sentido trasversal, también se observa una disminución de la fuerza máxima con respecto a tiempo de exposición, sin embargo, esta reducción resulta menos evidente en comparación con el tejido de menor gramaje. La resistencia disminuye de 695.36 N en la condición inicial hasta 509.12 N tras 16 h de exposición, y posteriormente presenta una pequeña recuperación alcanzando valores de 615.12 N a las 24 horas. Este comportamiento indica que un mayor gramaje en los tejidos contribuye a una mejor conservación de las propiedades mecánicas bajo condiciones prolongadas de exposición al diésel “fósil”.

De manera general, los resultados confirman que el sentido longitudinal presenta mayores valores de resistencia a la tracción que el sentido transversal en ambos tejidos. Asimismo, la exposición del diésel “fósil” afecta en mayor medida al tejido de menor gramaje especialmente en de la trama, evidenciando disminución en su resistencia. No obstante, es importante señalar que la exposición de los tejidos al diésel “fósil” altera su estructura y estabilidad mecánica, lo que contribuye a la disminución de la resistencia tanto en la urdimbre como en la trama.

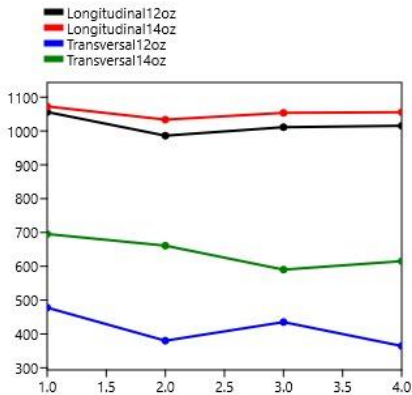
### **Análisis gráfico**

Del mismo modo, como parte de este análisis, se presenta la **Figura 32**, la cual tiene como objetivo comparar los datos obtenidos para las diferentes telas utilizadas. En esta figura se observa el comportamiento de la fuerza máxima bajo distintas condiciones de tiempo de inmersión y sentido del tejido. En la gráfica de líneas se aprecia cuatro líneas cada una dividida en 4 puntos que representan los tiempos de inmersión de 0, 8, 16 y 24 horas. Asimismo, cada línea se distingue por un color que corresponde a una condición específica del estudio. Las líneas de color negro y

azul representan el tejido denim de 12 oz en el sentido de la urdimbre y la trama, respectivamente. Por otro lado, las líneas de color rojo y verde corresponden a las fuerzas máximas en el sentido longitudinal y transversal del tejido denim de 14 oz.

### Figura 32

*Comportamiento del tejido ante la fuerza máxima*



En el gráfico de línea se puede apreciar el comportamiento de la fuerza máxima para cada tipo de tela y en cada uno de los sentidos del tejido. Para iniciar el análisis, se consideran las 2 líneas superiores las cuales representan el sentido longitudinal de ambos tejidos. Como primera observación se evidencia que la línea de color rojo se mantiene por encima de la otra en todos los puntos evaluados, lo que sugiere que la resistencia a la fuerza de tracción del tejido denim de 14 oz es superior a la del denim de 12 oz bajo las cuatro condiciones de inmersión analizadas. Asimismo, se observa que la menor diferencia entre ambas curvas ocurre en la condición de 0 h de exposición; por el contrario, la mayor separación se presenta a las 8 h de inmersión, donde se registra una superioridad del 4.58% a favor del tejido de 14 oz.

Un comportamiento similar se observa en los datos correspondientes al sentido transversal, donde los puntos de la línea verde se ubican por encima de la línea azul lo que indica que en el sentido de la trama el tejido denim de 14 oz presenta una mayor resistencia en comparación con

el tejido de 12 oz, del mismo modo se observa que la separación entre ambas curvas es considerable alto. La menor diferencia entre los puntos se registra en la condición de 16 h de inmersión, con una diferencia del 26.27% entre ambos tejidos; por el contrario, la mayor diferencia se presenta bajo la condición de 8 h de inmersión alcanzando una diferencia de 57.49%.

### **B. Elongación máxima del tejido**

En este apartado se realizan los análisis de la elongación máxima del tejido antes de rotura, conforme a la norma ISO 13934-2. Para ello, se presenta la **Tabla 23**, donde se muestran los datos obtenidos de ambos tejidos, evaluados en sus secciones longitudinal y transversal, bajo diferentes tiempos de exposición al diésel “fósil”.

**Tabla 23**

*Resultados de elongación*

Tiempo de exposición	Tejido de 12 oz		Tejido de 14 oz	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
0h	36,06 %	20,46 %	37,96 %	21,67 %
8 h	33,9 %	18,41 %	36,13 %	20,6 %
16 h	31,67 %	18,85 %	34,35 %	19,41 %
24 h	33,46 %	18,65 %	36,52 %	19,91 %

Como se observa en la tabla, el tejido denim de 12 oz en su sentido longitudinal presenta una elongación del 36.06 % para la condición inicial de 0 horas de exposición. Posteriormente, esta capacidad se reduce a 33.9 % tras 8 horas de exposición al diésel “fósil”. Del mismo modo, la elongación continúa disminuyendo con el incremento del tiempo de exposición, pasando de 33.9 % a 31.67% luego de 16 horas de inmersión, lo que representa una reducción aproximada del 6.6% en este intervalo. Finalmente, entre las 16 y 24 horas se evidencia un incremento del 5.6

% en la elongación, aumentando de 31.67 % a 33.46%, lo que sugiere una ligera recuperación del comportamiento elástico del tejido.

En el sentido transversal, para el tejido con 0 horas de exposición la elongación presenta un valor de 20.46 %, el cual es inferior al registrado en su sección longitudinal. Por su parte, cuando el tejido es expuesto durante 8 horas al diésel “fósil”, esta capacidad se reduce hasta 18.41%. Asimismo, en la diferencia entre los valores correspondiente a 8 y 16 horas de exposición, se observa que la elongación aumenta en un 2.4 %, pasando de 18.41 % a 18.85%. Posteriormente tras 24 horas de exposición, la elongación vuelve a disminuir a un 1.1 % con respecto a la condición anterior, obteniéndose que, a finalizar el último tiempo de inmersión, el tejido denim de 12 oz presenta una elongación de 18.65%.

Para el tejido denim de 14 oz la capacidad de elongación se reduce de manera progresiva desde la condición inicial hasta 16 horas de inmersión, pasando de 37.96 en la condición de 0 horas a 34.35 % tras las 16 horas de inmersión, mostrando una reducción del 9.5 %. Sin embargo, entre las 16 y 24 horas se evidencia un incremento del 6.3 %, indicando una mejora parcial en la capacidad mecánica. En el sentido trasversal, se observa que el tejido inicia en la condición de 0 horas con una elongación de 21.67%, para luego de 8 horas de inmersión, esta se reduzca hasta un 20.6 %. Al comparar los valores correspondientes a 8 y 16 horas, se registra una disminución del 5.8% pasando de 20.6% a 19.41%. Por último, entre las 16 y 24 horas de inmersión se presenta un aumento de 2.6 %, obteniéndose que, tras el mayor tiempo de exposición considerado en este estudio, la capacidad de elongación alcanza un valor de 19.91%.

De manera general, se aprecia que la capacidad de elongación en ambos tejidos presenta comportamientos similares, en los cuales se registran reducciones e incrementos en función del

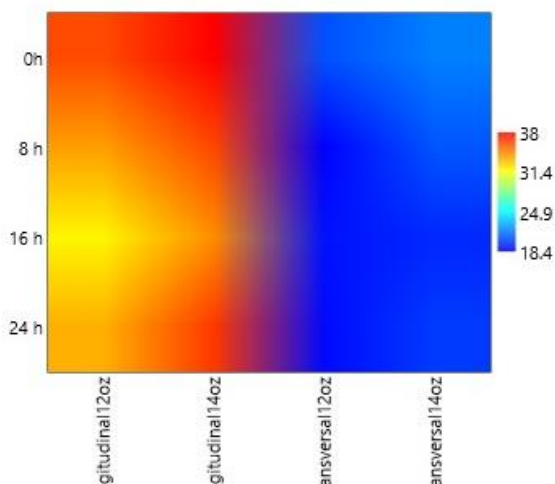
tiempo de exposición, siendo el sentido longitudinal el que evidencia las variaciones más significativas. No obstante, es evidente que la exposición de los tejidos al diésel “fósil” afecta negativamente esta propiedad mecánica, porque al comparar los resultados con la condición inicial, se observa que los valores son inferiores luego de la exposición.

### Análisis gráfico

Para esta etapa del proyecto se presenta un análisis gráfico del comportamiento del porcentaje de elongación en el ensayo de tracción, mediante un mapa de calor (ver **Figura 33**). En el eje horizontal se representan las condiciones asociadas al tejido como; el sentido longitudinal y transversal, así como los gramajes de 12 y 14oz. Por su parte en el eje vertical izquierdo se muestra las condiciones de inmersión correspondientes a tiempos de 0, 8, 16 y 24 horas. Asimismo, en el eje vertical derecho se presenta una escala colorimétrica la cual utiliza una graduación de colores para representar el porcentaje de la valoración obtenida en cada una de las condiciones evaluadas permitiendo una visualización clara comparativa del comportamiento del material bajo las distintas variables de estudio.

**Figura 33**

*Resultados de elongación*



En esta gráfica se identifican 2 tendencias principales representados por el dominio de tonalidades rojas y azules, las cuales reflejan diferencias significativas en el porcentaje de elongación según el sentido del tejido y el gramaje. Al analizar inicialmente la zona de colores cálidos correspondientes al sentido longitudinal, se observa que el tejido denim de 12 oz presenta una variación puntual en la condición de 16 horas de inmersión evidenciada por una tonalidad amarilla, lo que sugiere una mayor variabilidad del porcentaje de la elongación en comparación con las otras 3 condiciones evaluadas. Por su parte el tejido denim de 14 oz en sentido longitudinal muestra una tonalidad roja más intensa y homogénea lo que indica de manera general que presenta valores de elongación superiores y un comportamiento más estable en relación al tejido de 12 oz.

En contraste los resultados correspondientes al sentido transversal para ambos gramajes exhiben una distribución uniforme de tonalidades azules, lo que sugiere una menor elongación y un comportamiento consistente entre los 2 tejidos independientemente del tiempo de inmersión. Esta uniformidad indica que en el sentido transversal el efecto del gramaje y del tiempo de exposición tiene una menor afectación en comparación con el sentido longitudinal.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

1. Después de realizar la revisión bibliográfica sobre el comportamiento del tejido denim 100 % algodón frente a agentes químico como el diésel convencional, se comprobó que la exposición a este hidrocarburo produce alteraciones significativas en las propiedades mecánicas del material. Los estudios consultados coinciden en que la acción de hidrocarburos puede debilitar la estructura de los tejidos, afectando tanto su comportamiento frente a fuerzas de tracción como frente a esfuerzos por abrasión. Asimismo, se establecieron tiempos de inmersión de 8, 16 y 24 horas, considerando que el contexto laboral ecuatoriano la jornada ordinaria corresponde a 8 horas, lo que permitió simular condiciones de exposición equivalentes a uno, dos y tres días de trabajo continuo
2. La aplicación de ensayos normalizados conforme a las normas ISO 12947-2 e ISO 13934-2 permitió evaluar de manera objetiva el comportamiento mecánico y superficial del tejido denim 100% algodón expuesto al diésel “fósil”. El análisis de estadístico realizado en el software PAST 4, previa verificación de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk ( $p>0.05$ ), Garantizó un nivel de confianza del 95%, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.
3. Los tejidos denim de 12 y 14 oz sometidas a inmersión en diésel “fósil” y evaluados a 30 000 ciclos de abrasión no presentaron cambios estructurales mecánicos significativas, sin embargo, se evidenció un deterioro superficial marcado, manifestando principalmente como un cambio cromático muy alto. El análisis espectrofotométrico ( $\Delta E_{cmc}>13$ ) y la evaluación según la ISO 105 A02, confirmaron una valoración 1 en la escala de grises,

indicando un cambio de color drástico. El denim de 12 oz mostró mayor susceptibilidad al cambio de color, mientras que el de 14 oz presentó un comportamiento relativamente más estable.

4. Se concluye que la exposición del diésel “fósil” genera una degradación progresiva de la resistencia mecánica del tejido denim, obtenido que el denim 14 oz mantuvo mayores niveles de desempeño mecánico (1072.61 N en urdimbre y 695.36 N en trama), mientras que el denim de 12 oz presentó reducciones más pronunciadas, especialmente en la trama, alcanzando un mínimo de 364.42 N tras 24 horas de exposición. Estos resultados confirman que el hidrocarburo compromete progresivamente la integridad, siendo el sentido de la trama y el menor gramajes los mas vulnerables.
5. Por último, para la capacidad de elongación de los tejidos denim de 12 y 14 oz se obtuvo que en ambos casos los valores máximos se registran bajo la condición de 0 horas de exposición con valores de 36.06% y 37.96% en el sentido longitudinal, mientras que tras la inmersión de diésel “fósil” se redujo a porcentajes de 31.67% y 34.35% evidenciando una pérdida no tan marcada de la elasticidad. En el sentido de la trama se observa valores que se reducen de 20.46% a 18.65% en el de 12 oz y 21.67% a 19.41% para el de 14 oz. En conjunto, se determinó que el diésel fósil reduce la capacidad de elástica del tejido, siendo el sentido longitudinal el más afectado, mientras que un mayor gramaje se asocia con mayor estabilidad mecánica.

### **Recomendaciones**

1. Se recomienda aplicar futuras investigaciones incorporando otros tipos de hidrocarburos como gasolina, aceites lubricantes y/o combustibles industriales, diferentes gramajes y

nuevos materiales o estructuras textiles, con el fin de comparar el efecto sobre la resistencia mecánica, abrasión y el cambio de color de los tejidos denim.

2. Se recomienda desarrollar estudios orientados a la mejora del desempeño del denim, mediante recubrimiento, acabados funcionales, que incrementen la resistencia del material como en resistencia y/o desgaste frente a la exposición de hidrocarburos.
3. Del mismo modo se recomienda realizar estudios de la optimización de procesos de lavado y limpieza industrial de prendas Denim expuestas a hidrocarburos, con el fin de evaluar la recuperación de las propiedades mecánica o cromáticas, y determinar protocolos adecuados de mantenimiento del material sin afectar su integridad estructural.
4. Se recomienda realizar estudios comparativos entre tejidos de algodón 100% y mezclas de fibras (poliéster/algodón), para así evaluar si estas combinaciones mejoran la resistencia mecánica y a la abrasión frente a la exposición del diésel “fósil”, contribuyendo al desarrollo de materiales textiles aplicables al mundo industrial.

## Referencias Bibliográficas

- Adamu, B. F. (2022). Permeability and Moisture Management Properties of Denim Fabric Made from Cotton, Spandex, and Polyester. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series E*, 103(2), 253–258. <https://doi.org/10.1007/s40034-022-00249-1>
- Angelova, D., Staneva, D., Atanasova, D., & Toteva, V. (2025). Application of Textile Composite Materials as a Sorbent for Cleaning Up Oil Spills. *Materials*, 18(5). <https://doi.org/10.3390/ma18051146>
- Aqel, A., Dhabbah, A. M., Yusuf, K., AL-Harbi, N. M., Al Othman, Z. A., & Yacine Badjah-Hadj-Ahmed, A. (2016). Determination of gasoline and diesel residues on wool, silk, polyester and cotton materials by SPME–GC–MS. *Journal of Analytical Chemistry*, 71(7), 730–736. <https://doi.org/10.1134/S1061934816070029>
- Cao, S., Sun, X., Li, Y., Xu, G., & Yang, J. (2022). Testing and Evaluation of the Oil Absorption Characteristics of Cotton Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 19(16), 14337–14345. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2064390;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Chorieva, M., Kurbanov, F., Asadova, S., Asadova, Z., & Sultanova, F. (2024). Study of the protective properties of special clothing fabrics under the influence of crude oil. *E3S Web of Conferences*, 548, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454808016>
- Constitución de la República del Ecuador. (2006). *Título I Capítulo I. 449*, 1–65.
- Disagrocombe. (2025). *Diesel 2 Industrial*. <https://disagrocombe.com/diesel-industrial.html>
- Ecuador, M. de D. N. del. (2023). *Suplemento del Registro Oficial No. 167 , 16 de Diciembre 2005 Normativa: 167*, 1–199. [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/03/Codigo-de-Trabajo\\_feb\\_2023.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/03/Codigo-de-Trabajo_feb_2023.pdf)
- Escott, M. del P. (2018). Introducción Al Análisis Cualitativo Comparativo Como Técnica De

- Investigación. *Digital Ciencia*, 11(January), 66.  
[https://www.uaq.mx/investigacion/revista\\_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v11-n1/art4\\_numerada-VF.pdf](https://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v11-n1/art4_numerada-VF.pdf)
- Gad, S. C. (2014). Diesel Fuel. *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 115–118.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00837-X>
- Gerbing, D. W. (1963). Campbell and Stanley for Undergraduates. In *Contemporary Psychology: A Journal of Reviews* (Vol. 29, Issue 4). <https://doi.org/10.1037/022808>
- Heal, J. (2014). *Operator 's Guide*. July, 1–140.
- Heal, J. (2025). *Titan 5*. <https://www.jamesheal.com/instrument/titan5>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2023). *Metodología de la investigación Ed. 2 por Roberto Hernández Sampieri - 9786071520319 - Journal*.  
[https://www.edicionesjournal.com/Papel/9786071520319/Metodología%2Bde%2Bla%2Binvestigación%2BEd%2B%2B2?srsItd=AfmBOormbrv-D2OYBGadD-MIU8vk3iFO9ZwOCsFm\\_dvDJIAsj161\\_-TH&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.edicionesjournal.com/Papel/9786071520319/Metodología%2Bde%2Bla%2Binvestigación%2BEd%2B%2B2?srsItd=AfmBOormbrv-D2OYBGadD-MIU8vk3iFO9ZwOCsFm_dvDJIAsj161_-TH&utm_source=chatgpt.com)
- Hinzmann, C., Parsons, D. F., Fiedler, J., Zalieckas, J., & Holst, B. (2024). Nanodiamond-treated flax: improving properties of natural fibers. *Cellulose*, 31(1), 685–701.  
<https://doi.org/10.1007/s10570-023-05585-y>
- Ho, L. Y., & Kan, C. W. (2022). Effect of Resin Finishing on Some Properties of 100% Cotton Light Weight Woven Fabric. *Coatings*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/coatings12111791>
- Houshyar, S., Nayak, R., Padhye, R., & Shanks, R. A. (2019). Fabrication and characterization of nanodiamond coated cotton fabric for improved functionality. *Cellulose*, 26(9), 5797–5806.  
<https://doi.org/10.1007/s10570-019-02479-w>
- Kalazić, A., Badrov, T., Schwarz, I., & Brnada, S. (2023). Incorporating Variable Porosity into

- the Determination of Effective Permeability in Interchanging Double Cloth Woven Fabrics Using Darcy's Law. *Polymers*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/polym15143048>
- Kaynak, H. K., & Topalbekiroğlu, M. (2008). Influence of fabric pattern on the abrasion resistance property of woven fabrics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 16(1), 54–56.
- LG. (2025a). *Lavadora*.
- LG. (2025b). *Secadora a Gas Carga Frontal*. <https://www.lg.com/ec/lavadoras-y-secadoras/lg-df50wv2s6w>
- Li, W., Wang, H., Jiang, X., Zhu, J., Liu, Z., Guo, X., & Song, C. (2018). A short review of recent advances in CO<sub>2</sub> hydrogenation to hydrocarbons over heterogeneous catalysts. *RSC Advances*, 8(14), 7651–7669. <https://doi.org/10.1039/c7ra13546g>
- Marcelo, P., Carrera, P., José, D., Encalada, E., Sulay, E., & Muñoz, M. (2019). Características técnicas convencionales de la ropa de trabajo para mitigar los riesgos laborales en el contexto ecuatoriano. *Novasineria Revista Digital De Ciencia, Ingeniería Y Tecnología*, 2(2), 84–93. <https://doi.org/10.37135/unach.ns.001.04.09>
- Mason, W. (2003). *Evaluación de Resistencia del Color*.
- Matusiak, M., & Kosiuk, G. (2025). Quantitative Assessment of Woven Fabric Surface Changes During Martindale Abrasion Using Contactless Optical Profilometry. *Materials*, 18(15), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ma18153636>
- Ministerio de Salud Pública. (2015). Ley Órgánica de Salud. *Plataforma Profesional de Investigación Jurídica, Registro O*, 46. <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORGÁNICA-DE-SALUD4.pdf>
- Natarajan, G., & Palani Rajan, T. (2024). Mechanical Properties of Cotton and High-Performance Fiber Blended Denim Fabrics for Motorcycle Protective Clothing. *Journal of Testing and*

- Evaluation*, 52(4), 2206–2218. <https://doi.org/10.1520/JTE20230598>
- Petroecuador. (2012). *Especificaciones del diésel. 2*, 2266.
- Posso-Pasquel, J., Chugá-Chamorro, V., Mora-Muñoz, E., & Esparza-Encalada, W. (2024). Comparative Study of Abrasion Resistance in Cotton and Meta-Aramid Fabrics for the Production of Safety Garments. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 903, 3–14. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-52258-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-52258-1_1)
- Preview, T. S. (2014). *Textiles-Tensile properties of fabrics-Part 2: Determination of maximum force using the grab method COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT. 2014.*
- Shah, S. T. U. R., Haq, F. U., Hussain, T., Bajwa, S. Z., Bekchanov, D., Din, M. I., Mujahid, A., & Afzal, A. (2024). Expanded polystyrene (EPS) waste upcycling and efficient oil/water emulsion separation with advanced EPS-cotton membranes. *Desalination and Water Treatment*, 320(April), 100647. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100647>
- Shaw, V. P., & Mukhopadhyay, A. (2022). Impact of abrasion on strength, elasticity and elastic recovery properties of stretch-denim fabric. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 34(2), 241–261. <https://doi.org/10.1108/IJCST-12-2020-0205>
- Sofronova, D. (2024). Towards Sustainable Jeans Production: Experimental Evaluation of a Denim Fabric to Abrasion Resistance by Dry Fabric-to-Fabric Rubbing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1380(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1380/1/012027>
- Standards, T. (2021). *ISO 12947-2:2016 - Textiles — Determinación de la resistencia a la abrasión de los tejidos mediante el método Martindale — Parte 2: Determinación de la rotura de la muestra.* <https://www.iso.org/standard/61058.html>
- Ukponmwan, J. O. (1993). The Effect of Wet Abrasive Wear on the Tensile Properties of Cotton

and Polyester-Cotton Fabrics. *Journal of Testing and Evaluation*, 21(1), 84–93.  
<https://doi.org/10.1520/JTE11746J>

Wang, H., Ding, J., Xue, Y., Wang, X., & Lin, T. (2010). Superhydrophobic fabrics from hybrid silica sol-gel coatings: Structural effect of precursors on wettability and washing durability. *Journal of Materials Research*, 25(7), 1336–1343. <https://doi.org/10.1557/JMR.2010.0169>

Wang, X., Liu, X., & Hurren, C. (2008). Physical and mechanical testing of textiles. *Fabric Testing*, 90–124. <https://doi.org/10.1533/9781845695064.90>

# ANEXOS

## Anexo 1

### Ficha técnica de Petroecuador



#### EP - PETROECUADOR REPORTE DE RESULTADOS

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con  
 Acreditación No. OAE LE C13-002 2013-06-04

GERENCIA: \_\_\_\_\_ GERENCIA DE REFINACIÓN REFERENCIA: \_\_\_\_\_  
 ORGANIZACIÓN: M01 REFINERIA ESMERALDAS PRODUCTO ANALIZADO: 0180 DIESEL 2  
 REPORTE Nro. \_\_\_\_\_ CÓDIGO DE MUESTRA: ECC- \_\_\_\_\_

DATOS DEL CLIENTE								
NOMBRE			ING. ANTONIO MORALES (INTENDENTE DE OPERACIONES)					
DIRECCION			Km 7 1/2 Antigua Via Atacames					
TELEFONO			022694000 (85021)					
SOLICITADO POR:			ING. REMIGIO PACHECO - JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN					
DATOS DE LA MUESTRA								
ORIGEN DE LA MUESTRA:								
FECHA DE TOMA DE MUESTRA:			HORA TOMA DE MUESTRA					
CANTIDAD DE MUESTRA:								
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:			HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA					
LUGAR TOMA DE MUESTRA:			SETRIA			AFORO DE TANQUE		
DATOS DE ANALISIS								
TEMPERATURA AMBIENTE:			°C					
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE:			%RH			PRESIÓN BAROMETRICA kPa		
FECHA Y HORA DE INICIO DE LOS ENSAYOS:			FECHA Y HORA FINALIZACIÓN DE LOS ENSAYOS					
FECHA DE EMISIÓN DEL REPORTE:								
RESULTADOS								
PARÁMETROS	MÉTODOS			ESPECIFICACIONES (1)		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	U(2)
	ASTM	INEN	INTERNO	MIN	MAX.			
Punto de inflamación	93	1493	V03.06.01.03-T-11	51	-		°C	
Contenido de agua y sedimento*	1796	1494		-	0.05		%V	
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación*	189	1491		-	0.15		%P	
Contenido de cenizas*	482	1492		-	0.01		%P	
Destilación: 50%*	86	926		REPORTE	REPORTE		°C	
90%*	86	926		-	360		°C	
Viscosidad cinemática, 40 °C	445	810	V03.06.01.03-T-02	2.0	5.0		mm <sup>2</sup> /s	
Contenido de azufre	4294	-	V03.06.01.03-T-27	-	0.7		%P	
Corrosión a la lámina de cobre*	130	927	V03.06.01.03-T-51	-	No.3		-	
Índice de cetano calculado*	976	1495		45	-		-	
Contenido de biodiesel*	7371	EN14078		NOTA	5		%V	
Gravedad API, 15,6 °C	1298	-	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE		°API	
Densidad Relativa, 15,6/15,6 °C	1298	-	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE		-	
Densidad, 15,0 °C	1298	-	V03.06.01.03-T-04	REPORTE	REPORTE		kg/m <sup>3</sup>	
*API OBSERVADO: _____								
TEMPERATURA OBSERVADA: _____								
OBSERVACIONES: _____								
FIRMAS DE RESPONSABILIDAD								
_____ TECNICO LIDER DE CONTROL DE CALIDAD			_____ SUPERVISOR DE CONTROL DE CALIDAD			_____ ESPECIALISTA DE CONTROL DE CALIDAD		
NOTAS: Los resultados se refieren únicamente a los objetos sometidos a ensayos Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del LCC Los ensayos marcados con (*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE (1) Referencia a la Norma INEN 1489:2012 (ENMIENDA 2013-06-14) (2) La U es estimación multiplicando la U Típica por el factor de cobertura k=2 (95% nivel de confianza)								
DIRECCIÓN: Km 7 1/2 ANTIGUA VÍA ATACAMES /2994000 - EXT. 85450						FORMATO: V03.06.01.03-FO-207(V17-2012-01-25)		
Página 1 de 1								

## Anexo 2

### *Proceso de exposición al Diésel*



### Anexo 3

#### *Proceso de Lavado y Secado*



## Anexo 4

### *Colocación y Sujeción de Testigos Bases*



## Anexo 5

### *Verificación de Resultados en los 30 000 Ciclos*

