

**VALIDACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN EN UN  
EQUIPO MARTINDALE**

**SANTIAGO ARISTIZÁBAL GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MEDELLÍN  
2014**

**VALIDACIÓN DE UN PROTOCOLO PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN EN UN  
EQUIPO MARTINDALE**

**SANTIAGO ARISTIZÁBAL GONZÁLEZ**

**Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico**

**Directora**

**Adriana Restrepo Osorio**

**Ingeniera Textil, PhD**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**MEDELLÍN**

**2014**

---

---

---

---

Nota de aceptación

---

Firma

Nombre

Presidente del jurado

---

Firma

Nombre

Presidente del jurado

---

Firma

Nombre

Presidente del jurado

Medellín, 2 de Abril de 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a:

A mi familia, especialmente a mi padre por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional y cumplir mi sueño de ser ingeniero mecánico con todo el esfuerzo que se hizo para llegar a estas instancias, y a mi madre por todo el apoyo y dedicación que me brindo en todos los aspectos de mi vida.

Mis más profundo y sincero agradecimiento a mi directora, Dra. Adriana Restrepo Osorio por su esfuerzo, dedicación, y confianza depositada en mi para este proyecto, quien con sus conocimientos, sus consejos, su experiencia, su paciencia por aguantarme tanto tiempo en la orientación, seguimiento y supervisión pero por sobre todo la motivación y el apoyo recibido, ha logrado que haya podido terminar mis estudios con éxito. Agradecerle también por que más que mi directora fue mi amiga incondicional.

Son muchas personas las que de cierta manera colaboraron en este tiempo, iniciando y finalizando este proyecto, sobre todo en mi trabajo en el instituto de energía y termodinámica donde me brindaron apoyo, motivación y tiempo para la culminación de esta tesis.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	11
INTRODUCCIÓN .....	12
CAP 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	15
1.1. ANTECEDENTES .....	15
1.2. TRIBOLOGÍA.....	16
1.2.1 Categorías y condiciones de pruebas tribológicas.....	19
1.3. DESGASTE.....	23
1.3.1 Relación entre desgaste y fricción .....	26
1.3.2 Tipos de desgaste.....	27
1.3.3 Procedimiento de estudio del desgaste .....	29
1.4. ABRASIÓN .....	30
1.4.1 Abrasión en textiles .....	33
1.4.2 Análisis de las características de abrasión en los tejidos.....	38
1.5. EQUIPOS Y NORMAS PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN .....	44
1.5.1 Probador Martindale.....	53
1.5.2 Normas aplicables al Martindale .....	57
1.5.3 Descripción del equipo Martindale .....	58

1.5.4	Criterios de evaluación para una prueba de abrasión en el Martindale .....	63
1.5.5	Factores que afectan a una prueba de abrasión en un equipo Martindale .....	64
1.6.	CASOS DE ESTUDIO DE ABRASIÓN .....	67
CAP 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....		73
2.1.	MATERIALES .....	73
2.2.	MÉTODOS .....	75
2.3.	CRITERIO DE TERMINACIÓN DE PRUEBA.....	79
CAP 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....		80
3.1.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	96
CONCLUSIONES.....		100
BIBLIOGRAFÍA .....		<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los fenómenos de desgaste [23].	28
Tabla 2. Métodos de ensayo de resistencia a la abrasión de las telas	47
Tabla 3. Especificaciones para abrasivo de tela de lana estándar (ASTM D 4966) [24].	62
Tabla 4. Intervalos para la medición de la pérdida de peso [24].	64
Tabla 5. Geometría de la muestra [34].	65
Tabla 6. Pesos de las muestras antes de someter algunas a la prueba.	77
Tabla 7. Pérdida de peso de las muestras de tela por ciclos de abrasión.	82
Tabla 8. Promedio, desviación estándar de la pérdida de peso tela.	83
Tabla 9. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (a)	85
Tabla 10. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (b)	86
Tabla 11. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (c)	87
Tabla 12. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (d)	88
Tabla 13. Pérdida de peso de las muestras del cuero por ciclos de abrasión.	89
Tabla 14. Promedio, desviación estándar de la Pérdida de Peso cuero.	90
Tabla 15. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (a)	92
Tabla 16. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (b)	93
Tabla 17. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (c)	94

Tabla 18. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (d).....	95
---	----

## Lista de Figuras

Figura 1. Categorías de pruebas tribológicas [23].....	20
Figura 2. Períodos en el proceso de desgaste [21].....	24
Figura 3. Desgaste por abrasión [21].....	31
Figura 4. Abrasión a dos cuerpos. [20].....	31
Figura 5. Abrasión a tres cuerpos. [20] .....	32
Figura 6. Productos de abrasión textiles - borde de los pantalones [24]. .....	40
Figura 7. Rotura de fibra producido como abrasión contra la tela estándar de lana peinada [24]. .....	43
Figura 8. Martindale Comprobador de abrasión distribuido por Qualitest [43].....	45
Figura 9. Martindale Abrasion Tester, model HT2131, fabricado por Hung Ta Instrument Co. LTD[44].....	45
Figura 10. Textile Martindale Abrasor fabricado por Dongguan Haida Equipment Co, Ltd. [45]. .....	45
Figura 11. Martindale abrasion and Pilling Tester kfg-2390 fabricado por JA King & Co. [46]. .....	46
Figura 12. Martindale 900, fabricado por James Heal [47].....	46



Figura 13. Apariencias superficiales de tejidos - antes (izquierda) y después (derecha) de la prueba de abrasión [24]. .....	47
Figura 14. Probador de aceleración de abrasión [24]. .....	49
Figura 15. Probador de abrasión flexión [24]. .....	49
Figura 16. Esquema de la prueba de cilindro oscilatorio [50]. .....	50
Figura 17. Probador de abrasión para el método de diafragma inflado [24]. .....	51
Figura 18. Plataforma Rotaria Doble cabezal QC-619T [48]. .....	52
Figura 19. Máquina para pruebas de abrasión uniforme [50]. .....	52
Figura 20. Disposición de las muestras y abrasivo en el LINRA Tester [31]. .....	53
Figura 21. Montaje de la muestra de ensayo en el probador de desgaste LINRA [31]. .....	55
Figura 22. Una vista general de la abrasión Tester Martindale modificado en 1972 [31]. .....	55
Figura 23. Diagrama esquemático que muestra el soporte de la muestra mejorada en el año de 1979 para probador de abrasión Martindale. [32]. .....	56
Figura 24. Equipo de abrasión Martindale, modelo: M235, adquirido por la Universidad Pontificia Bolivariana Medellín [41]. .....	59
Figura 25. Figura Lissajous [HRN iso12947-1:2008][1] .....	59
Figura 26. Esquema completo de un puesto del probador de abrasión Martindale [27]. .....	61
Figura 27. Una estación de probador de abrasión [41]. .....	61
Figura 28. Vista explosionada de un soporte para muestras [41]. .....	62
Figura 29. Diagnostico del tipo de pisada por medio del desgaste. [23] .....	70

Figura 30. Tela de Jean.....	73
Figura 31. Cuero curtido al cromo .....	74
Figura 32. Cortadora M2325A .....	75
Figura 33. Cortadora M2325B .....	76
Figura 34. Ajuste del cuero.....	77
Figura 35. Ajuste de la tela.....	78
Figura 36. Confección del montaje en una estación del Martindale. ....	78
Figura 37. Estación del Martindale con el abrasivo. ....	79
Figura 38. Pérdida porcentual de peso de las muestras de Tela. ....	84
Figura 39. Pérdida de peso de las muestras de Cuero. ....	91

## Lista de Anexos

Anexo 1. Protocolo para Pruebas de Abrasión en un Equipo Martindale;**Error! Marcador no definido.**

## RESUMEN

La UPB, a través la Facultad de Ingeniería Textil adquirió en 2012 un equipo para la investigación de la abrasión de materiales textiles y flexibles. El presente estudio establece un método adecuado para realizar dichas pruebas alrededor de las pautas instauradas por las normas internacionales ASTM.

Para establecer una metodología, es necesario empaparnos de adecuada información brindada, primero por el fabricante y segundo por la recolección bibliográfica alrededor del mismo y de equipos similares para luego elaborar un protocolo de ensayo que posteriormente se valida de acuerdo a la normativa disponible.

Con miras a lograr esta validación se realizan varias acciones: se consultan las normas ASTM, se elabora un protocolo en el que el método, está encaminado de la mano de estas normas para una correcta operación de la prueba de abrasión Martindale, asimismo se logra entender lo que ocurre en la prueba. Luego se verifican los resultados de acuerdo a los rangos establecidos en la norma para que estén acordes a la prueba.

Gracias a lo anteriormente referido se obtiene un protocolo de ensayos, el entendimiento básico del fenómeno tribológico asociado a la prueba y la validación del método en algunos tipos de materiales. Con esto se logra un adecuado manejo del equipo y se establece el alcance para las pruebas de abrasión que se pueden realizar con él.

## INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo, se consideró que las pruebas de resistencia a la abrasión de textiles era un procedimiento que proporcionaba una evaluación de la durabilidad del producto, es decir su idoneidad para el propósito pretendido. Sin embargo, con el tiempo, la investigación ha demostrado que no siempre es así. Esto no significa que el procedimiento haya perdido importancia, éste es reconocido ya que procura dar una aproximación del desgaste que resulta al implementar una prueba en textiles, que a través de los años, se han hecho más y más verídicos puesto que se han producido ajustes tratando de mejorar los equipos para que estos resultados sean aún más reales.

Finalmente, se ha llegado a concluir, que no es posible construir una máquina de abrasión para la medición de desgaste, que represente a la perfección lo que sucede en la vida diaria. Sin embargo el equipo para pruebas de abrasión Martindale es una herramienta adecuada que proporciona resultados excelentes para determinar la abrasión, la resistencia a la formación de motas (*Pilling*) y permite promover la investigación sobre desgaste de todo tipo de estructuras textiles.

Es importante recalcar que las pruebas de abrasión es esencial para evaluar productos de diversos sectores industriales, entre los cuales están los textiles en la automoción, el vestuario de protección personal, el calzado, los materiales para filtración, entre otros. Además, las

propiedades de abrasión en complemento con otras caracterizaciones otorgan aproximaciones en cuanto a la duración útil de un producto.

En el capítulo uno se presenta información sobre el equipo para pruebas de abrasión Martindale, su funcionamiento, partes que lo componen y las normas internacionales existentes afines a él. Se realiza una revisión bibliográfica sobre los temas asociados, es decir la tribología como fenómeno que ocurre en este tipo de pruebas, relacionando los temas que van ligados a este sobre desgaste y fricción, además se indica los análisis correspondientes a las características de abrasión en los materiales textiles, tipos de desgaste que pueden darse, la familia de equipos relacionados, los factores que afectan a la prueba de abrasión, métodos de evaluación y por último las posibles aplicaciones útiles que puede otorgar una prueba de estas.

En el capítulo dos, se definen los materiales a los que se les va a efectuar la prueba, un material flexible (cuero) y un textil (*jean*), se describe el método a implementar, la adecuación, la preparación y el montaje del equipo. En el capítulo tres, se indican los resultados de las pruebas realizadas, la forma como se evaluaron los datos. También se presenta un registro fotográfico de las muestras por cada intervalo establecido y finalmente una discusión de éstos. Finalmente, en los capítulos cuatro y cinco, se concluye y recomienda en base a los alcances obtenidos en esta investigación.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Validar el protocolo para pruebas de abrasión en un equipo Martindale.

### **Objetivos específicos**

- Definir el protocolo de ensayo de abrasión para un equipo Martindale modelo M235-4 para evaluar materiales textiles y flexibles.
- Evaluar algunos materiales textiles o flexibles de acuerdo al protocolo antes definido.
- Describir el fenómeno tribológico asociado a la prueba de abrasión realizada con el Martindale.

# CAP 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.2 ANTECEDENTES

La segunda mitad del siglo XX, se caracterizó por el uso generalizado de materiales textiles en una variedad de áreas, como por ejemplo en industrias de vehículos (barcos, aviones, naves espaciales), en los deportes profesionales, en la agricultura, en la construcción de carreteras, la protección de personas y animales, protección del medio ambiente, y la medicina.

En la década de 1940 JG Martindale, mientras trabaja para *Wool Industries Research Association*, desarrolló un abrasímetro para establecer el comportamiento tribológico de los tejidos de lana. Con el paso del tiempo el equipo homónimo desarrollado por el Sr Martindale fue ajustándose hasta que hoy día es empleada en diversos materiales textiles y flexibles. Algunas empresas como James H. Heal and Co. Ltd, Inglaterra [4] y SATRA Technology [5] producen y comercializan estos equipos desde 1940 y 1950 respectivamente.

Las publicaciones relacionadas con este tipo de pruebas fueron también iniciadas por el PhD JG Martindale en la década de los años 50 [6]. Desde entonces esta prueba es fundamental para la investigación de materiales textiles y flexibles con diversas aplicaciones, por ejemplo:

- ✓ Abrasión de textiles de acuerdo a la forma del tejido [7,8,9]
- ✓ Abrasión de textiles de acuerdo a la materia prima [10,11]
- ✓ Abrasión de no-tejidos [12,13]

- ✓ Otros materiales flexibles como: Abrasión y el desgaste de goma, la degradación de armadura corporal militar debido al desgaste y estudio de la resistencia a la abrasión en la tapicería de asientos de vehículos [14,15,16].

Por lo anterior, cabe destacar la versatilidad que ofrece el equipo Martindale para implementar pruebas a diferentes materiales textiles y flexibles.

## **1.2 TRIBOLOGÍA**

En la tribología, algunos de los ítems relevantes en su desarrollo son:

- En Septiembre de 1964 – se realizó una conferencia sobre la lubricación en trabajos del hierro y el acero en Cardiff (Reino Unido). En este estudio que es actualmente llamado como el reporte de Jost, se sugirió que en el Reino Unido se podían lograr grandes ahorros al aplicar tecnología tribológica en el diseño de maquinaria de más de 500 millones de libras esterlinas [20].
- Después de la realización de este congreso el Ministro de Estado del Reino Unido para la ciencia, formó un comité para promover la educación, la investigación relacionada con la lubricación. Llegaron a concluir después de las deliberaciones de ingeniería que la lubricación no sólo podría proporcionar una solución completa para hacer frente a la fricción y el desgaste de los componentes, sino que se tendría que dar también un enfoque interdisciplinario que abarcaría desde la mecánica de sólidos y fluidos, química y ciencia de los materiales como disciplinas fundamentales para complementar dicho estudio. Como no existía ninguna palabra para tan extraño concepto, el nuevo nombre "Tribología" fue



acuñado en 1966 [20].

- Después de 1966, la palabra "Tribología" se ha usado para:
  - a. Mecanismos básicos que rigen el comportamiento interfacial entre superficies metálicas, fluidos contra superficies, etc.
  - b. Teorías básicas para cuantificar los mecanismos de contacto.
  - c. Las soluciones a los problemas de fricción y desgaste [20].

La fricción, el desgaste y la lubricación se han estudiado en la ciencia y en muchas clases de ingeniería, a un nivel muy básico. Esto significa que las tendencias nacidas empíricamente (fuerza de fricción es proporcional a la fuerza de carga, la fricción estática es mayor que la fricción cinética, la fricción viscosa en un fluido es proporcional a la fuerza normal de contacto, etc.) se utilizan a menudo, como las únicas herramientas disponibles para hacer predicciones [20]. Este poder predictivo ha liderado el campo de la tribología y se da en muchos sectores científicos que dicen que:

- La mayoría de los fenómenos tribológicos son sustancialmente complejos, por lo que es necesario entender los conceptos de la tribología en los detalles.
- La integración de los conocimientos de múltiples disciplinas (mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, ciencia de materiales, química, etc.), son esenciales y por lo tanto un tema obligatorio [20].

Algunas disciplinas, se pueden diferenciar dentro de la tribología y se ajustan a ciertos niveles comprendidos desde su perspectiva, como objeto de estudio. Entre las que se encuentran:

❖ Mecánica de sólidos:

La mecánica de sólidos está centrada en las matemáticas, física del contacto (presiones, cargas) y las temperaturas de las superficies debidas al deslizamiento. Los investigadores presentan modelos para la fricción y el desgaste de sistemas mecánicos que están basados en mecanismos tribológicos muy simples [21].

❖ Ciencia de los materiales:

En ciencia de los materiales se estudian los mecanismos a nivel atómico y micro escala de la degradación de la superficie o alteración durante el deslizamiento. En este campo los resultados de los estudios se muestran con microfotografías, espectros de energía eléctrica y de rayos X [21].

❖ Tendencias científicas.

Los principales esfuerzos científicos de la tribología en la década pasada han sido enfocados a entender el flujo y los procesos de contacto en las escalas atómica, molecular y nanométrica. Estos métodos ofrecen además la posibilidad de clarificar los mecanismos de disipación de energía durante el deslizamiento, algo que en estos días aún no ha sido bien comprendido.

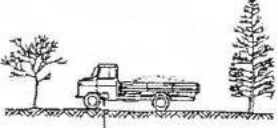
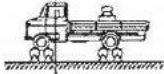
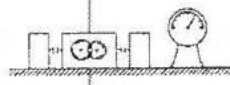
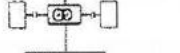


❖ Otros aspectos.

Se refiere a diferentes aspectos que no son puramente técnicos tales como requerimientos medio ambientales, reducción de los tiempos de diseño, calidad y otros aspectos competitivos están teniendo importantes implicaciones. De todos éstos, el factor más importante en fabricación de maquinaria es el costo. La selección de ciertos materiales, métodos de fabricación y acabados superficiales puede ser demasiado costosa [21].

El estudio de la tribología se requiere para equipos y máquinas de petroquímica, ferrocarriles, automoción, agricultura, transporte, generación de energía, aeroespacial, aplicaciones militares, dispositivos electrónicos y casi todas las fases de la vida donde se encuentra el movimiento bajo carga. [20].

### **Categorías y condiciones de pruebas tribológicas.**

Las pruebas tribológicas pueden ser agrupadas en seis categorías. Dependiendo de la estructura y función de la maquinaria, sistema, componente a ser estudiado, así como de la condición operativa. La Figura 1 ilustra tales categorías, y los tipos de prueba que son llevados a cabo en cada una de ellas. Cada categoría presenta condiciones distintas, por lo tanto difieren en su alcance y resultados.

Categoría	Tipo de prueba	Símbolo
I	Pruebas de campo para maquinaria	
II	Pruebas de banco para maquinaria.	
III	Pruebas de banco para sistemas.	
IV	Pruebas de banco para componentes.	
V	Pruebas de modelos.	
VI	Pruebas de laboratorio.	

**Figura 1. Categorías de pruebas tribológicas [23].**

Las pruebas de categoría I representan el desempeño real del objeto bajo estudio, para realizar esta prueba, se requiere generar las condiciones a las que estará desempeñándose el equipo. En la categoría II, las pruebas se llevan bajo algunas simplificaciones del medio o variables operativas, en las cuales las condiciones como temperatura y vibraciones, son sustancialmente diferentes a las llevadas en las pruebas de campo. En las pruebas de subsistemas (categoría III), las interacciones de diferentes partes del sistema son reducidas. Tanto las pruebas de modelos o componente simple (categoría IV) como las pruebas de modelos o componente simple (categoría V), son llevadas bajo condiciones de operación más estrechas.

La categoría VI, pruebas de laboratorio, es la que nos compete en este trabajo y son usadas en el estudio de los principios fundamentales de la fricción y los procesos de desgaste. Las condiciones de este tipo de pruebas son orientadas hacia el estudio de un fenómeno en específico, más que a simular un comportamiento tribológico real [23].

La tribología como estudio del análisis operacional a problemas de gran importancia, llámese confiabilidad, mantenimiento, o desgaste de un equipo técnico, abarca muchas aplicaciones como ya se mencionó anteriormente. La tribología se centra en el estudio de tres fenómenos; la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste. La aplicación de los conocimientos de la tribología en estas prácticas deriva en:

- Ahorro de materias primas.
- Aumento en la vida útil de las herramientas y la maquinaria [17].

Bajo la óptica de la ingeniería, la tribología cobra importancia debido a las cargas impuestas a los componentes mecánicos y la disminución constante de las tolerancias permitidas en los procesos de fabricación. Debido a esto, las superficies siempre van a cumplir funciones muy importantes como son: tribológicas, de desempeño óptico, eléctrico y térmico, así como dar la estética de la parte [22].

Para dar cumplimiento a estas funciones se debe entender dos de los fenómenos que se pueden tratar en una superficie. Uno, es el rozamiento natural entre una superficie con otra entendiéndose con el nombre de fricción, un término que puede llegar a ser confundido con el de abrasión siendo éste, el segundo fenómeno y sabiendo que, aunque tienen relación entre sí, son dos sucesos completamente diferentes ya que la abrasión es un fenómeno que se da al provocar un desgaste en una superficie de un cuerpo, por medio de algún método, ya sea

haciéndolo químicamente (ej. con un ácido sobre un metal) o físicamente (ej. lija, rastrillo, etc.).

La fricción por su parte, expresa la pérdida gradual de energía cinética, y parte de esta energía se disipa en forma de calor y otra parte interviene en los procesos de deformación, dando lugar al desgaste de las superficies que están en contacto [21]. La ocurrencia de fricción es una parte de la vida cotidiana. Es necesaria para que podamos tener control, por ejemplo sobre nuestro caminar [20].

Los procesos de fricción juegan un papel muy importante en la tecnología y los fenómenos debidos al rozamiento pueden sintetizarse en las siguientes leyes:

- Rozamiento estático es cuando se da el arranque entre dos superficies que a la vez es mayor que el régimen normal de marcha llamado rozamiento dinámico. Esta diferencia se puede justificar debido a que hay que vencer la inercia del cuerpo y también por la fuerza de adherencia entre los dos cuerpos.
- La fuerza de rozamiento depende de la morfología superficial de los cuerpos en contacto y es directamente proporcional a la presión normal entre ambos e independiente de la extensión de las superficies de contacto.

El comportamiento de roce presenta unas tipologías especiales debidas por una parte, a la asimetría molecular de la fibra y por otra, a su superficie escamosa que provoca un efecto friccional, que también juega un papel muy importante en el comportamiento tribológico [18].

Por tanto los fenómenos que se pueden dar en las superficies de todos los materiales (metales, polímeros, cerámicos, textiles, etc.) estarán siempre expuestos a un daño superficial causado por dichas tipologías. El cambio topográfico o micro estructural que se da, en una capa superficial del material, surgirán siempre en los materiales sometidos a contacto.

### **1.3 DESGASTE**

Hay varias definiciones del término desgaste. Se podría definir el desgaste como el daño en la superficie, como resultado del movimiento relativo con respecto a otra sustancia. Un aspecto clave en esta definición es el daño que se produce, esto no significa que necesariamente se produzca una pérdida de material de la superficie.

El NPTEL (*National Programme on Technology Enhanced Learning*) lo define como la eliminación no deseada de material de superficie sólida de funcionamiento [20]. Existen dos definiciones que el NPTEL da:

- Desgaste cero: Es básicamente un proceso de pulido en las superficies de contacto. La eliminación del material que causa un pulido de superficies puede ser conocido como "desgaste cero". Puede aumentar el rendimiento de un cuerpo que fue diseñado para un trabajo específico, y es para la mejora.
- Desgaste medible: Con la eliminación no deseada de material se produce un desgaste medible. La eliminación de material de la superficie aumenta la vibración; rugosidad y se puede tratar como un "desgaste cuantificable". A menudo se mide el desgaste por reducción de volumen / masa [20].

En el desgaste, coexisten períodos que se dan al estudiar el contacto entre superficies. Los cambios más importantes ocurren durante el período inicial llamado *break-in* o período de ruptura de la inercia inicial, el cual se representa en la Figura 2. Durante este período, pueden ocurrir muchos fenómenos; se destaca la modificación de la rugosidad o la formación de tribocapas que se da cuando una hay deformación plástica severa alcanzando varios micrómetros de profundidad y que se forma bajo condiciones extremas de operación como por ejemplo altas presiones de contacto, generando una pequeña estructura. Aquí las tasas de desgaste son generalmente altas.

El otro período claramente definido es el llamado *steady-state* estado estacionario donde el desgaste permanece estabilizado o incluso con tasas ascendentes muy suaves, conforme aumenta el tiempo. La estabilidad de este período depende del mecanismo de desgaste que opere [21].

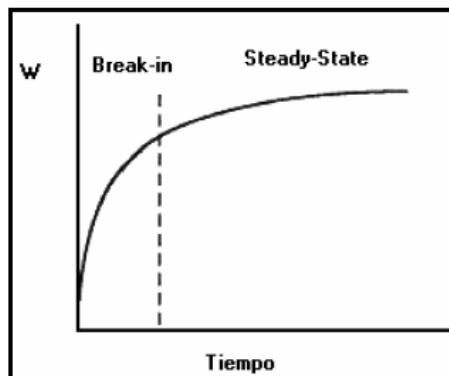


Figura 2. Períodos en el proceso de desgaste [21].



Desde que el desgaste comenzó a ser un tópico importante, que necesitaba ser estudiado y entendido, comenzaron a aparecer en los libros de diseño y en la mente de los diseñadores, ideas sencillas de cómo prevenirlo o combatirlo, entre esas ideas se tienen:

- Mantener baja la presión de contacto.
- Mantener lisas las superficies de rodamientos.
- Usar materiales duros.
- Asegurar bajos coeficientes de fricción.
- Usar lubricantes [22].

Del mismo modo, para señalar y debatir sobre el desgaste, es necesario estudiar el análisis superficial suponiendo que siempre está en relación con los mecanismos y procesos que causan el daño, como también la relación de esos mecanismos con la geometría, las propiedades del material y otras características dando lugar a diferentes tipos de daño superficial como lo son:

- Daño superficial con cambio de material: son cambios estructurales y estos cambios estructurales están dados por el envejecimiento, templado.
- Daño superficial con pérdida de material: es solo desgaste, dando lugar a la pérdida de material de la superficie lo cual genera partículas de varios tamaños y formas [21].

Si bien el estudio superficial aporta mucha información, es necesario completar dicho estudio con un análisis micro estructural debido al tribocontacto que se origina entre materiales. Se

puede hablar de “capa activa”, y de “capa relajada” (pos desgastado). La primera capa, hace referencia a todo lo superficial desde su composición, estructura, propiedades térmicas y propiedades mecánicas durante el contacto tribológico. Mientras que la capa relajada, es la misma capa con las propiedades alcanzadas una vez mitigada la superficie. Una parte importante es el estudio de la “capa relajada”, deducir su estado activo y desde acá, dependiendo del propósito de la investigación, se pueden conseguir conclusiones sobre el modo de fallo, la mejora del diseño, la selección de materiales y otros aspectos. El desgaste, a su vez, está determinado por el volumen de partículas de desgaste producidas y la frecuencia con la que se producen [21].

### **Relación entre desgaste y fricción**

Fricción y desgaste son dos fenómenos que están relacionados, debido a la influencia que puede producir uno sobre otro. Hay que tener en cuenta que en el desgaste se producen partículas que quedan atrapadas entre las superficies que están en contacto, interviniendo en la fricción. Además, en las uniones se generan temperaturas altas en períodos cortos de tiempo, afectando al proceso de deformación y por lo tanto, el desgaste.

La fricción es un fenómeno que está relacionado con el contacto superficial, donde es considerable la influencia de la naturaleza de las superficies, su composición y micro estructura. La fricción y el desgaste son sensibles a los mismos parámetros y en general a los mismos tipos de fenómenos. El hecho de prestar atención sobre cómo se desarrolla la fricción en un sistema, puede ayudar a distinguir procesos o cambios en los mecanismos de desgaste,

por lo que su observación en conjunto da una información valiosa sobre el comportamiento tribológico del material.

Por ello, la fricción y el desgaste deben considerarse fenómenos relacionados pero no equivalentes, aunque no sean independientes. El desgaste puede dar lugar a modificaciones superficiales que influyan sobre la fricción, tales como formación de películas y cambios de rugosidad. Por su parte, la fricción, mediante un efecto de calentamiento o de esfuerzos de tracción, puede modificar el comportamiento del material y, por tanto, influir en el desgaste [21].














### **Tipos de desgaste**

Siempre que exista movimiento relativo entre dos sólidos que soportan una carga se producirá un desgaste en mayor o menor grado, dependiendo de la naturaleza del movimiento y de los diversos factores que intervienen en el proceso de deslizamiento [21]. En un buen diseño tribológico, la pérdida de material sería un proceso que se daría lentamente, siendo estable y continuo. Clasificar los tipos de desgaste que se pueden presentar en un material es difícil, porque la resistencia al desgaste no es una propiedad intrínseca del material como lo son el esfuerzo o la dureza.

Para considerar tipificaciones del desgaste se deben tomar en cuenta algunos aspectos, basados en el desgaste en piezas o componentes, como pueden ser picaduras, degradación y estriación. El segundo aspecto mayormente utilizado, toma en consideración las bases del mecanismo o

acción tribológica. En la Tabla 1, se observa como la norma DIN *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemán de Normalización), muestra los fenómenos de desgaste de acuerdo a la acción tribológica [23].

**Tabla 1. Clasificación de los fenómenos de desgaste [23].**

System structure	Tribological Action (symbols)	Type of wear	Effective mechanisms (individually or combined)			
			Adhesion	Abrasion	Surface fatiga	Tribo-chemical reactions
Solid Interfacial medium (full fluid film separation) -solid	Sliding Rolling 	—			x	x
Solid -Solid (with solid friction, boundary, lubrication, mixed lubrication)	sliding 	Sliding wear	x	x	x	x
	rolling 	Rolling wear	x	x	x	x
	impact 	Impact wear	x	x	x	x
	oscillation 	Fretting wear	x	x	x	x
Solid -Solid and particles	sliding 	Sliding abrasion		x		
	sliding 	Sliding abrasion (three body abrasion)		x		
	rolling 	Rolling abrasion (three body abrasion)		x		
Solid -fluid with particles	flow 	Particle erosion (erosion wear)		x	x	x
Solid -Gas with particles	flow 	Fluid erosion (erosion wear)		x	x	x
	Impact 	Impact wear particle		x	x	x
Solid - fluid	flow osillation 	Material, cavitation, cavitation erosion			x	x
	impact 	Drop erosion			x	x

En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, y se han identificado seis tipos principales de desgaste:

- Desgaste por adherencia.
- Desgaste por abrasión.
- Desgaste por fatiga.
- Desgaste por erosión.
- Desgaste corrosivo [17].

### **Procedimiento de estudio del desgaste**

Hay que tener en cuenta, que el control y la medida de las variables que pueden influir en el desgaste son muy importantes ya que, tanto la fricción como el desgaste, dependen de las condiciones de deslizamiento. Si las superficies se deslizan sin que se añada ningún lubricante, se denomina entonces “desgaste por deslizamiento en seco”.

El desgaste depende de condiciones de deslizamiento como: la velocidad, la distancia recorrida, la carga nominal, el área de contacto, la duración del ensayo. Por ejemplo, la velocidad lineal afecta el grado de disipación de la energía que se genera por fricción y, por lo tanto, la temperatura de la interface que interviene en los procesos de deformación. A mayor velocidad lineal mayor temperatura.

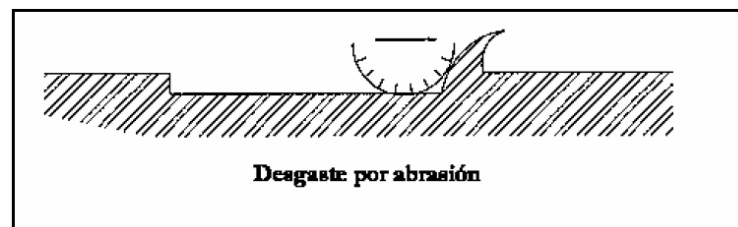
Además de la carga nominal, el tiempo de ensayo y la distancia recorrida, hay otros factores a tener en cuenta en el proceso de desgaste. La temperatura de ensayo tiene gran importancia por su influencia en las propiedades mecánicas de los materiales. La composición de la atmósfera y la orientación del aparato de ensayo. La atmósfera contiene oxígeno y vapor de agua que influye en el grado y mecanismo de desgaste, mientras que la orientación del aparato de ensayo puede afectar al desgaste debido a que, el comportamiento es distinto si las partículas de desgaste están alejadas del área de contacto a sí quedan atrapadas entre ambas superficies [21].

## **1.4 ABRASIÓN**

Esta palabra derivada del vocablo en latín *abradere*, el conocimiento sobre abrasión está vinculada con el hecho y consecuencia de raer o desgastar por medio de la fricción [59]. Para la ingeniería se define como el proceso para eliminar el material superficial de un sólido mediante fricción de otro sólido o fluido de mayor dureza (abrasivo). Cabe aclarar que la abrasión es la acción por la cual se origina el desgaste y el factor de estudio de este trabajo es la prueba de abrasión que se le pueden realizar a los materiales textiles y flexibles en un equipo Martindale, por consiguiente a continuación se describe en general sobre el desgaste abrasivo.

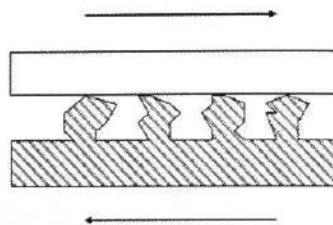
- Desgaste por abrasión

En el mecanismo de desgaste abrasivo, el arranque de partículas es causado principalmente por el contacto con deformación. El efecto de abrasión se produce cuando se da un contacto físico entre dos superficies, una de las cuales es considerablemente más dura que la otra. Las asperezas de la superficie más dura penetran en la más blanda, generando un flujo plástico en esta última. Cuando se impone un movimiento tangencial a la superficie dura, se produce un fenómeno parecido al del mecanizado en la superficie blanda [21]. La Figura 3 es una representación del desgaste por abrasión.



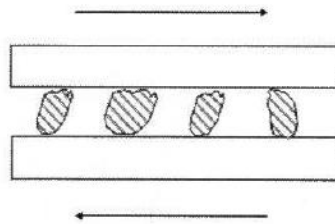
**Figura 3. Desgaste por abrasión [21].**

La Norma ASTM G40-92 define el desgaste abrasivo como la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella. Existen básicamente 2 tipos de desgaste abrasivo, estos son: desgaste abrasivo a dos cuerpos o a tres cuerpos. En abrasión a dos cuerpos, el desgaste es causado por rugosidades duras pertenecientes a una de las superficies en contacto, un ejemplo de esto es cuando se utiliza una lija para dar pulido a una muestra como se ve en la Figura 4.



**Figura 4. Abrasión a dos cuerpos. [20]**

La abrasión a tres cuerpos, el desgaste es provocado por partículas duras sueltas entre las superficies que se encuentran en movimiento relativo. Es decir, tienen libertad de deslizarse o girar entre dos superficies [22], [23]. La Figura 5, muestra esquemáticamente la abrasión a tres cuerpos.



**Figura 5. Abrasión a tres cuerpos. [20]**

En el contexto de este trabajo, haciendo una observación de la teoría sobre el desgaste se observa que al implementar una prueba de abrasión tipo Martindale se da el desgaste abrasivo por dos cuerpos ya que uno de ellos es un tejido de lana estándar (abrasivo) el cual contiene ciertos surcos y contra él se rozará el material o elemento que se pretende examinar. Aunque en función de determinadas variables del sistema y propiedades de los materiales involucrados, la eficiencia en la remoción de material bajo este mecanismo puede ser atenuada.

A continuación se presentan algunas acciones de los mecanismos de desgaste abrasivo:

- Micro-corte: Se da por partículas afiladas que cortan la superficie de material más suave.
- Micro-fractura: Aquí generalmente se da por ejemplo, en un material frágil como lo es un cerámico. La fractura de la superficie desgastada se produce debido a la separación de un número de pequeñas grietas.



- **Micro-fatiga:** Se da cuando un material dúctil es erosionado por una partícula desafilada, la superficie desgastada es repetidamente cargada y descargada, y se produce un fallo debido a la fatiga.
- **La eliminación de los granos de material:** Ocurre en los materiales con límites de grano relativamente débiles como cerámicos [20].

### **Abrasión en textiles**

El desgaste en materiales textiles, es uno de muchos factores de fallo en el que un objeto pierde su utilidad y las consecuencias económicas pueden ser de enorme valor para la industria. La abrasión es una importante propiedad de los materiales textiles que regula la calidad y la eficiencia de la transformación y el rendimiento de los productos [26].

La resistencia a la abrasión de los materiales textiles depende de varios factores, principalmente clasificados así: fibra, hilo, propiedades de la tela y el acabado procesos. Algunos de estos parámetros afectan a la superficie del tejido, mientras que otros influyen sobre la estructura interna de los tejidos. Por ejemplo, las características de la fibra, como la proporción y la finura, son una pauta esencial para desempeñar un papel significativo en la abrasión de la superficie, mientras que las características del hilo y de la tela, tales como la densidad lineal de la fibra y el coeficiente de entrelazamiento, están significativamente relacionados con la estructura del tejido [24].

Muchos investigadores han indagado sobre la influencia de la materia prima, la tecnología de producción de los hilados, la torsión del hilo y los tratamientos químicos que se le pueden hacer a una prenda en específico para instruirse sobre la influencia de la propiedad resistencia a la abrasión de tejidos. La propiedad de la resistencia a la abrasión es afectada por la naturaleza del abrasivo, la acción variable del abrasivo sobre el área de la muestra rozada, la tensión y los cambios dimensionales en la muestra [26].

#### ❖ *Propiedades de la fibra*

Las propiedades mecánicas y las dimensiones de las fibras son importantes para la abrasión. El tipo, la finura y longitud de la fibra son parámetros que afectan a la abrasión.

Las fibras con alta elongación, recuperación elástica y trabajo de ruptura, tienen una buena capacidad de resistir la distorsión repetida, por lo que un buen grado de resistencia a la abrasión se logra con estos parámetros.

Un tela con fibras más largas que, han de otorgar una mayor resistencia a la abrasión que las fibras cortas, ya que se hacen más difíciles liberarlas de la estructura del tejido. El uso de fibras más finas en la producción de hilos causa incremento en el número de la fibra en sección transversal con mayor cohesión, que da como resultado una mejor resistencia a la abrasión [24].

Cabe destacar el artículo llamado cambios morfológicos en las fibras de lana durante el desgaste en una prueba de abrasión publicado en una revista sobre textiles en donde se destaca la importancia de dichos cambios en estas fibras cuando se desgasta varios tipos de tela, expresando que estas alteraciones causadas por desgaste real eran similares en todas las partes de las prendas haciéndole pruebas de abrasión utilizando un equipo Martindale. Señalo rasgos característicos en ellas identificándolas así: Daño cuticular, fibras fibriladas, los extremos de fibras fibrosas, extremo de la fibra transversalmente fracturada [29].

#### ❖ *Propiedades del hilo*

En la estructura del hilo, la torsión y la pilosidad son las principales propiedades que afectan a la abrasión de los tejidos textiles. Un aumento constante de la densidad lineal en masa de hilo por unidad de superficie, aumenta la resistencia a la abrasión de los tejidos. Un hilo fino, perturba los valores de resistencia a la abrasión y la rotura se produce en menos ciclos.

La torsión es otro parámetro que afecta a la abrasión. No existe una cantidad óptima de torsión en hilados para dar la mejor resistencia a la abrasión. A bajas torsiones, las fibras se desprenden fibras individuales del hilo, de manera que se reduce gradualmente el diámetro. A altos niveles de torsión, las fibras se mantienen más juntas, pero el hilo se vuelve más rígido por lo que es difícil de perturbarlo, implementándole una presión para que se desgaste.

La vellosidad del hilo tiene un efecto negativo en términos de pérdida de masa durante la abrasión. Un aumento de la vellosidad hilo, debido a un nivel mayor de fibras que sobresalen de la superficie de hilo, reduce la resistencia a la abrasión de la tela. Otro factor que afecta a la

abrasión es el número de capas de hilo. Decir capa de un hilo, es referirse al número de hebras de hilo unidas. Si el número de capas de hilos aumenta, hará que una tela obtenga una mejora en las características de abrasión [24].

#### ❖ *Propiedades de la tela*

Otras propiedades como la construcción de la tela, el grosor, el peso tienen gran influencia en los tejidos y son componentes que afectan a la abrasión. La urdimbre y la trama tienen un efecto significativo sobre la resistencia a la abrasión de los tejidos. Las propiedades de los tejidos serán diferentes, cambiando el patrón de tejido que se evalúa, no sólo como una propiedad de apariencia, sino también como un parámetro de estructura muy importante.

El otro parámetro que afecta a la abrasión es la densidad del hilo de la tela. Los tejidos con una estructura densa tienen una mayor resistencia a la abrasión que aquellos con una estructura más suelta. Sin embargo, como los hilos se obstruyen juntos son incapaces de desviar una fuerza bajo carga y por lo tanto absorber la distorsión [24].

#### ❖ *Proceso de acabado*

Los tratamientos de acabado, los tipos y la concentración de los productos químicos utilizados en el tratamiento de estos procesos afectan las características de abrasión de los tejidos. Durante la operación de teñido por ejemplo, las fibras sobre la superficie de la tela se adherirán a la misma, por lo tanto el tejido logra un estado más junto, y el movimiento de las

fibras en el hilo será limitado. El proceso de lavado afecta a la resistencia a la abrasión de tejidos sin teñir y teñidos, y están de algún modo influenciados por el tratamiento de blanqueo.

El grado de daño en las fibras dentro del hilo tiende a aumentar en enredos si se aumenta el número de lavados, y el daño varía de pequeñas grietas y fracturas a la descamación leve dependiendo de la tela y el hilo. Por ejemplo, Un tratamiento de suavizante de nano-silicona provoca la disminución de resistencia a la abrasión de los tejidos. Las proporciones de pérdida de masa de las muestras con suavizantes de nano-silicona son más altas que las proporciones de pérdida de masa de las muestras sin suavizante de nano-silicona. Podría ser probable por la movilidad de la fibra dentro de la tela que se incrementa por el uso [24].

Factores particulares que reducen la prestación de una prenda de vestir dependen en gran medida su uso final. Estos cambios son provocados por la exposición de la prenda a un número de agentes físicos y químicos durante el curso de su uso. Algunos de estos agentes son los siguientes:

- ✓ Abrasión de la tela por el roce contra las partes del cuerpo o superficies externas.
- ✓ Tensiones de tracción que se producen en el modo como se pone alguien una prenda.
- ✓ El lavado y limpieza que son necesarios para mantener la apariencia superficial de la prenda.
- ✓ La degradación de la tela por el contacto con productos químicos como detergentes, anti-antitranspirantes y perfumes.
- ✓ La luz, en particular la ultravioleta, puede causar la degradación de los polímeros que conduce a una reducción en la resistencia, así como causar pérdida de los colores.

Las causas de desgaste están actuando a menudo al mismo tiempo y unidas acortan la vida útil de un tejido por lo tanto es necesario tener en cuenta el empleo al que se tendrá un tejido para que perdure por más tiempo ya que estará enfrentado a muchos factores de deterioro [27].

### **Análisis de las características de abrasión en los tejidos**

En la práctica es muy difícil interpretar y dar resultados para pruebas de “tejido sobre tejido”, y sobretodo fijar un significado para ellos en condiciones distintas cuando aquellas dos superficies de tela se frotan entre sí en una prueba arbitraria. Cualquier tipo de abrasivo no sólo afecta a la rapidez, sino el carácter esencial de los resultados.

La práctica de una prueba de abrasión sugiere claramente que uno de los factores para la resistencia de un tejido al desgaste es la firmeza de las fibras a la retirada, por el contacto entre los tejidos. La tendencia de algunas telas, de desarrollar bolitas en la superficie (Pilling) durante una prueba y durante el uso, es sin duda un factor que necesita ser investigado, ya que puede estropear la apariencia del tejido. Las telas están sujetas a cambios, ya que contienen fibras que pueden verse alteradas como mechones o "motas" de fibra unidas a la superficie. La tendencia a producir motas fácilmente podría pasar desapercibida en la mayoría de pruebas existentes de desgaste. El tema de las pruebas de desgaste de tejido todavía presenta bastante confusión y falta de información. Cualquiera que sea el abrasivo, no se puede pasar por alto la presencia del rompimiento de las fibras que se pueden o no producir [19].

La resistencia a la abrasión es uno de los varios factores que contribuyen a un rendimiento de desgaste o durabilidad como se experimenta en el uso real del material. Adicionalmente esta resistencia (a menudo expresada en términos de la cantidad de ciclos en una máquina determinada, utilizando la correspondiente técnica para producir un grado especificado de desgaste) y "durabilidad" (definido como la capacidad para resistir el deterioro o desgaste en uso, incluyendo los efectos de la abrasión) están frecuentemente relacionados.

El uso de materiales textiles expuestos a cambios físicos y químicos hacen que se creen imperfecciones como por ejemplo el cambio de forma, como se puede dar por ejemplo en la rodilla de un pantalón y el codo de una camisa, allí se van formando rastros de deformaciones; motas, debido a la fricción; que hacen que el aspecto cambie, y las deformaciones por desgaste produzcan envejecimiento y afecte la vida útil del material teniendo como causa la reducción de ésta. [28].

La abrasión en los tejidos es la destrucción física de fibras, hilos y telas, que resulta de la fricción de una superficie textil sobre otra superficie. Los materiales textiles pueden deteriorarse debido a varios factores diferentes y una de las causas más importantes es por abrasión. La abrasión se produce durante el uso de una prenda, o cuando esta se somete a proceso de limpieza y/o lavado. Esto podría distorsionar y debilitar la tela, haciendo que las fibras o hilos pierdan sus propiedades afectando la superficie.

Los principales factores que reducen la vida útil de la prenda de vestir dependen en gran medida su utilización extrema. Pero sobre todo ciertas partes de prendas de vestir, tales como

cuello, puños y bolsillos, son sometidos a grave desgaste en uso como se ve en la Figura 6. También otro ejemplo en donde la abrasión afecta alfombras, telas de tapicería, calcetines, textiles técnicos, etc [24].



**Figura 6. Productos de abrasión textiles - borde de los pantalones [24].**

Aunque muchas investigaciones se han hecho alrededor del tema, todavía se considera que este es una de las más complejas, menos entendidas propiedades que hasta ahora se ha estudiado [35].

El desgaste abrasivo en los textiles es causado por diferentes condiciones, que se indican a continuación:

- Fricción entre materiales textiles, como el roce de un forro de la chaqueta o abrigo en una camisa, pantalones de bolsillos de los pantalones de tela contra, etc.
- La fricción entre los materiales textiles en el objeto externo, como el roce de los pantalones con un asiento, etc.
- La fricción entre las fibras y el polvo o gravilla, en una tela que resulta en el corte de las fibras. Este es un proceso extremadamente lento, puede ser observado en las banderas que cuelgan o trajes de baño a causa de la arena no removida.



- La fricción entre los componentes de la tela. Estiramiento y flexión de las fibras durante el uso [24].

En condiciones normales para procedimientos mecánicos y prácticos, la tasa de desgaste normalmente cambia a través de tres diferentes etapas:

- a) Etapa primaria o principios de período en período: Donde las superficies se adaptan el uno al otro y la tasa de desgaste puede variar entre alta y baja en donde el textil está ligeramente desgastado y micro fibras comienzan a sobresalir de la superficie.
- b) Proceso secundario etapa o edad media: Donde un ritmo constante de desgaste está en movimiento. La mayoría de la vida operativa de los componentes está comprendida en esta etapa. En esta parte el desgaste se ha incrementado y las fibras rotas empiezan a deshilacharse y a dividirse. Las fibras que sobresalen se llaman pelusa.
- c) Terciario o etapa de vejez: Es donde los componentes son sometidos a un fallo rápido debido a una alta tasa de desgaste. En este punto es probable que la abrasión esté bastante obvia [24], [49].

También en la abrasión en textiles, comúnmente se dan tres tipos de desgaste, el desgaste adhesivo, abrasivo y el mecanismo de fatiga superficial. Estos tipos de desgaste juegan un papel importante ya que influyen enormemente sobre el conjunto de los hilos y telas [24]. A continuación se hace una descripción de ellos y se estudia la influencia que tienen en los textiles.

#### ❖ *Desgaste abrasivo*

El desgaste abrasivo, ocurre cuando una superficie rugosa dura se desliza por una superficie más suave. ASTM (American Society for Testing and Materials) la define como la pérdida de material debido a las partículas o protuberancias duras que son forzadas a moverse a lo largo de una superficie sólida. El desgaste abrasivo es comúnmente clasificado de acuerdo con el tipo de contacto y el medio de contacto de ahí se determina el modo de desgaste abrasivo [24]. Como ya se mencionó anteriormente, acá ocurren los dos modos de desgaste por abrasión, de dos y tres cuerpos.

#### ❖ *Fatiga superficial*

Desgaste de fatiga de un material textil es causado por una carga de ciclo durante la fricción. La fatiga se produce si la carga aplicada es mayor que la resistencia a la fatiga del material. Las fisuras por fatiga comienzan a surgir de la superficie del material y se va extendiendo a tramos más internos. La fuerza de fricción produce fuerzas de compresión-tensión, que se traducen en fatiga [24].

#### ❖ *Desgaste adhesivo*

Se produce entre las superficies durante el contacto de fricción y generalmente se refiere a desplazamiento no deseado y a la fijación de las partículas de desgaste y compuestos de materiales de una superficie a otra. El desgaste adhesivo y el material de transferencia, debido al contacto directo es la principal causa en el desgaste adhesivo [24].

En términos de mecanismo de desgaste en textiles, la abrasión primero modifica la superficie de la tela y luego afecta la estructura interna de la tela, dañándola. Un textil no requiere que

sus hilos posean más torsiones para evitar la abrasión sino que estos posean una buena calidad de sus fibras y una buena fabricación en el entrelazado del tejido. La abrasión se verá influenciada, tanto por el trabajo absorbido en el primer proceso de deformación (energía total de ruptura), como por el trabajo absorbido durante deformaciones repetidas [25].

Las fibras en uso están sujetas a una variedad de fuerzas diferentes, que se repiten muchas veces durante el curso de la abrasión de los textiles. La cohesión de la fibra juega un papel importante y suele estar influenciada por la torsión del hilo o el empaquetamiento de la fibra. Las fuerzas de fricción desarrolladas en el hilo debido al movimiento en una prueba de abrasión, se disipan en gran medida en las fibras, por el desarrollo de esfuerzos de tracción y de cizallamiento además la repetición de ciclos que allí se produce provoca fatiga en la fibra por las tensiones producidas, lo que induce a la pérdida de esta y de propiedades mecánicas, por esta razón se llega a la ruptura. Además por la repetición de ciclos de abrasión, las fuerzas de fricción son capaces de desplazar la fibra de su posición normal, y estas fibras se rompen a través de doblado y flexión. En la Figura 7 se observa la rotura de la fibra de un tejido expuesto a un abrasivo de lana peinada [24].



**Figura 7. Rotura de fibra producido como abrasión contra la tela estándar de lana peinada [24].**

La resistencia a la abrasión de los materiales textiles puede ser estudiada desglosando los elementos que integran un material textil. A continuación se hace una explicación de estos elementos y su influencia en la resistencia a la abrasión de textiles.

### **1.5 EQUIPOS Y NORMAS PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN**

Una serie de equipos de prueba de abrasión se han desarrollado a lo largo del tiempo y hasta ahora han sido idóneos para evaluar la resistencia de los textiles a desgaste mecánico. La mayoría de los tejidos muestran un deterioro utilizando un abrasivo estándar que hace que las fuerzas que allí se ejercen, dañen o destruyan elementos estructurales en el textil que están siendo sometidos a esta evaluación [30].

Estos diversos tipos de dispositivos se han creado para probar la resistencia a la abrasión que se define a menudo en términos del número de ciclos de abrasión aplicados por una máquina específica, utilizando una técnica determinada para producir un grado específico de daño o una cierta cantidad de abrasión teniendo en cuenta las normas establecidas para cada tipo de prueba. En la mayoría de los ensayos de abrasión depende de cómo es la aplicación de energía hacia los tejidos. La forma de transferir la energía de la máquina a la tela es diferente para distintos equipos, pero los principios básicos son los mismos.

A lo largo del tiempo, industrias se interesaron por diseñar y dar facilidad al manejo del equipo de abrasión Martindale, innovando en la creación de diferentes aparatos. Similares diseños de estos equipos se pueden ver hoy en día, con tamaños variados, hechos de

numerosas estaciones para el montaje de muestras, variabilidad para el control, etc. A continuación de la Figura 8 a la 12 se muestran diferentes equipos Martindale:



**Figura 8. Martindale Comprobador de abrasión distribuido por Qualitest [43].**



**Figura 9. Martindale Abrasion Tester, model HT2131, fabricado por Hung Ta Instrument Co. LTD[44].**



**Figura 10. Textile Martindale Abrasor fabricado por Dongguan Haida Equipment Co, Ltd. [45].**



**Figura 11. Martindale abrasion and Pilling Tester kfg-2390 fabricado por JA King & Co. [46].**



**Figura 12. Martindale 900, fabricado por James Heal [47].**

Estos equipos están diseñados para provocar una cantidad controlada de abrasión a una superficie de un material, ya sea cuero, tela, no tejido, entre otros; con una presión establecida en un continuo cambiar de dirección. La forma en que se utiliza depende del operador que debe decidir qué método parece más aplicable y adecuado para el problema de estudio. A continuación se puede ver en la Figura 13 dos materiales textiles sometidos a una prueba de abrasión en un equipo Martindale. Se observa el antes y el después de los materiales sometidos al ensayo.



**Figura 13. Apariencias superficiales de tejidos - antes (izquierda) y después (derecha) de la prueba de abrasión [24].**

Como se mencionó, hay tres tipos de desgaste en términos de aparición. Por lo tanto existen diferentes métodos de ensayo que han sido descritos por el tipo de abrasión, el movimiento de la cabeza de prueba o la configuración del dispositivo de prueba. Las diferencias entre los procedimientos incluyen el tipo de equipo, abrasivo (el material que roza la muestra), el material utilizado (incluyendo tejida, no tejida, y tejidos de punto, tejidos de ropa del hogar, tejidos industriales, etc.) y el método de evaluación.

En todos los métodos de ensayo, la muestra sometida a ensayo se frota contra un abrasivo que puede ser una tela o una lámina de esmeril, ya sea para una cierta cantidad de tiempo de un cierto número de golpes o de ciclos [24]. Existen diversas normas ASTM que definen métodos para cuantificar la resistencia a la abrasión de los materiales textiles e introducen técnicas para la evaluación de las telas rozadas. En la Tabla 2 se muestra el dispositivo y el método de prueba para cada norma.

**Tabla 2. Métodos de ensayo de resistencia a la abrasión de las telas**

Prueba Estándar		Dispositivo / método de prueba
ASTM D 4966	Método de prueba estándar para resistencia a la abrasión de los tejidos textiles	Probador de abrasión Martindale
ASTM D 3884	Método de prueba para la resistencia a la abrasión de los tejidos textiles	Plataforma rotatoria doble cabeza (RPDH)

ASTM D 3885	Método de prueba para la resistencia a la abrasión de los tejidos textiles	La flexión y método de abrasión
ASTM D 3886	Método de prueba para la resistencia a la abrasión de los tejidos textiles	Diafragma inflado
ASTM D 4157	Método de prueba para la resistencia a la abrasión de los tejidos textiles	Método cilindro oscilatorio
ASTM D 4158	Método de prueba para la resistencia a la abrasión de los tejidos textiles	Método abrasión uniforme

Cualquiera que sea el método asumido para elaborar una prueba de abrasión, al final se originará un desgaste y los tres tipos de abrasión como acción mecánica para provocarlo se indican a continuación junto con las normas relacionadas a cada operación.

❖ *Abrasión de borde*

En abrasión de borde el material se dobla hacia atrás sobre sí mismo mientras es desgastado. En algunos productos los pliegues, dobleces, cordones, puños, cuellos, costuras, solapas de los bolsillos son más susceptibles a la abrasión de borde. La mayoría de los productos muestran primero daños a lo largo de los bordes que daños en el producto como tal ya que la fuerza se concentra en una pequeña porción del material. Por tanto, la abrasión de borde o en el doblés es una medida de la resistencia del tejido al desgaste. Para este tipo de acción, el probador de acelerador de abrasión que se puede ver en la Figura 14, tiene una acción diferente a los probadores de abrasión antes mencionados. En ésta prueba, una muestra de tejido es accionado por un rotor dentro de una cámara circular forrada con una tela abrasiva. El espécimen sufre la abrasión por el roce contra sí mismo [24].





**Figura 14. Probador de aceleración de abrasión [24].**

❖ *Abrasión flexible*

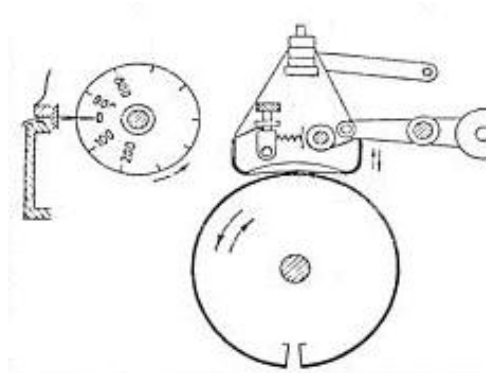
Abrasión Flexible es el tipo de prueba más común a la que un producto textil se somete. En esta el material se dobla o se flexiona durante el frotamiento. Muy poca de la mayoría de la superficie de los productos es completamente plana durante el uso, por lo tanto, la prueba de abrasión flexible es una muestra representativa para comprobar una prenda con las condiciones de uso en la vida diaria [24]. La ASTM D 3885, Este método tiene por objeto determinar la resistencia de los tejidos a la abrasión y a la flexión empleando un aparato adecuado para este fin. Para ello, la muestra se somete a una reciproca y única dirección de doblado y frotamiento sobre una barra de características conocidas de presión y tensión. En la Figura 15 puede observar el aparato empleado [50].



**Figura 15. Probador de abrasión flexión [24].**

- ❖ En la norma ASTM D 4157, método del cilindro oscilatorio, la resistencia a la abrasión se determina sometiendo la muestra a una acción de frotamiento unidireccional bajo condiciones de presión, tensión, y acción abrasiva. El aparato consta de un cilindro oscilante seccionado, equipado con mordazas en sus bordes, que permiten colocar una hoja de material abrasivo sobre su superficie curvada. Consta también de tres o cuatro porta muestras para permitir ensayar simultáneamente varios especímenes. Cada brazo consta de una serie de mordazas para regular la tensión y de un dispositivo de control de presión. La tensión de la muestra se ajustara empleando un peso calibrado deslizable a lo largo de una barra unida a la mordaza delantera.

En cuanto a las muestras, se cortaran longitudinalmente en forma paralela a los hilos de urdimbre, para la resistencia a la abrasión por urdimbre, y paralela a la trama para la determinación de la abrasión por trama [50]. En la Figura 16 se puede observar un esquema de este tipo de prueba.



**Figura 16. Esquema de la prueba de cilindro oscilatorio [50].**

- ❖ En el método ASTM D 3886, Se emplea para determinar la resistencia a la abrasión de los tejidos, colocando la muestra sobre un diafragma de goma hinchado por la acción de aire o presión controlada, y haciéndole frotar, en una, o en varias direcciones, contra una

superficie abrasiva de características determinadas [50]. En la Figura 17 se observa el probador de abrasión para este tipo de método.



**Figura 17. Probador de abrasión para el método de diafragma inflado [24].**

#### ❖ *Abrasión plana*

La abrasión plana se produce cuando un objeto plano se frota a otro material plano. Este tipo de ensayo es adecuado ya que la fuerza de fricción se distribuye sobre toda una área amplia.

Para este tipo de acción, tres normas le corresponden:

ASTM D4966 es el método de prueba estándar para resistencia a la abrasión de los tejidos textiles y su dispositivo es el probador de abrasión Martindale. Las muestras circulares se desgastan bajo presión conocida contra un tejido estándar. La resistencia a la abrasión se mide sometiendo el espécimen al frotamiento en un movimiento de la forma de una figura geométrica, denotado movimiento Lissajous [24].

En la norma ASTM D3884 el método de la plataforma giratoria de doble cabezal se puede

utilizar para la mayoría de las telas. Este tiene por objeto determinar la resistencia a la abrasión o durabilidad del tejido sometiendo la muestra a una acción de rozamiento giratorio, bajo condiciones controladas de presión y acción abrasiva. En la Figura 18 se puede observar el dispositivo con que se elabora este método [50].



**Figura 18. Plataforma Rotaria Doble cabezal QC-619T [48].**

En la norma ASTM D 4158 tiene por objeto determinar la resistencia a la abrasión de una gran gama de tejidos. El aparato consiste en dos superficies planas (una la del abrasivo y la otra, la superficie del porta muestras), las cuales giran en el mismo sentido a casi la misma velocidad angular sobre dos ejes paralelos no coaxiales [50]. La Figura 19 muestra el equipo para la prueba de abrasión por este método.



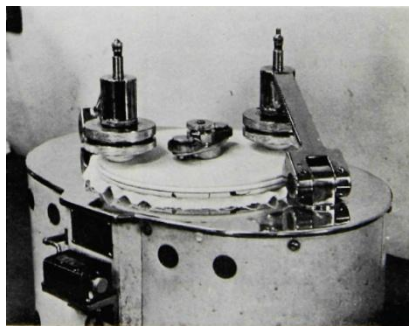
**Figura 19. Máquina para pruebas de abrasión uniforme [50].**

El probador Martindale, como verificador de abrasión uniforme, es el instrumento de trabajo sobre el mecanismo de abrasión plana y su mecanismo de acción ya se ha dado a conocer primeramente [24].

## Probador Martindale

### ❖ *Antecedentes históricos del equipo*

El probador de abrasión Martindale se puede utilizar para una variedad de propósitos. Desde años atrás una empresa llamada industrial Lambeg Association (LIRA) creó un probador llamado LINRA Wear Tester, que se puede observar en la Figura 20, para simular el tipo de daño que se produce durante el desgaste en servicio de un tejido.



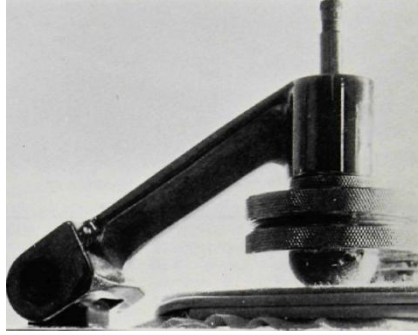
**Figura 20. Disposición de las muestras y abrasivo en el LINRA Tester [31].**

Este, dio resultados útiles en una variedad de tejidos incluyendo lino, algodón, lana, nylon, poliéster y mezclas, pero tenía un pormenor y era que el área de contacto entre la muestra y el abrasivo era pequeña, lo que proporcionaba rápidamente abrasión puesto que la concentración del empuje de la fuerza se centraba en esta pequeña porción de área generando dicho

deterioro. Industrial Lamber se dio cuenta que el equipo que fabricaron no satisfacía la necesidad de simular el tipo de daño que ocurría durante el uso de una prenda. Se dieron a la tarea de estudiar el caso y llegaron a la conclusión de que el mejor método de aplicación de los principios de este tipo de prueba era modificar un probador de abrasión que fuera comercialmente disponible. De esta idea aparece el equipo de abrasión Martindale que fue registrado por Wool Industries Research Association (Wira) y lo consideraron adecuado para las modificaciones. En unión con la industria James H. Heal y Co Ltd, idearon accesorios para implementarle a este equipo en donde sometían las muestras a un tipo de abrasión similar a la producida por el Linra Wear Tester. Se le hacen dos modificaciones importantes que aún permanecen hoy en día y fueron:

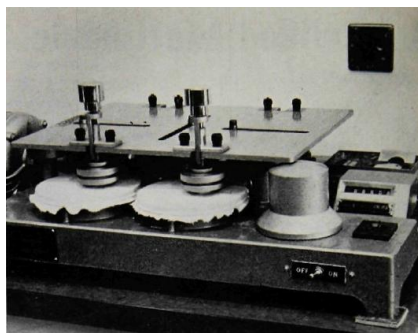
- Los soportes para muestras fueron modificados para ser similares a los utilizados en la LINRA Wear Tester como se muestra en la Figura 21.
- Desarrollan la placa base, incluyendo soportes de acero que contienen bolas de acero de un 1/4 pulgada de diámetro.

Estas modificaciones se hicieron de tal manera que los accesorios se pudieran intercambiar con los soportes para muestras junto con la base de la placa del equipo estándar [31]. Adicional a esto, como se describirá posteriormente se le hicieron otro tipo de modificaciones como el cambio de una copa de respaldo metálica por una plástica y la separación del vástago sobre el soporte de muestra.



**Figura 21. Montaje de la muestra de ensayo en el probador de desgaste LINRA [31].**

Además como se muestra en la Figura 22, se puede ver cómo empieza a tomar forma el probador de abrasión Martindale con las modificaciones mencionadas, lo cual fue un avance importante, ya que al realizar las pruebas se tuvo un área de rozamiento más grande permitiendo así la abrasión en todas las direcciones, puesto que a diferencia del LINRA Tester, el Martindale dio mayor libertad de movimiento por la capacidad de desplazamiento de la placa base gracias a que imparte un movimiento horizontal de los soportes hacia la muestra en forma de una figura de Lissajous [31].

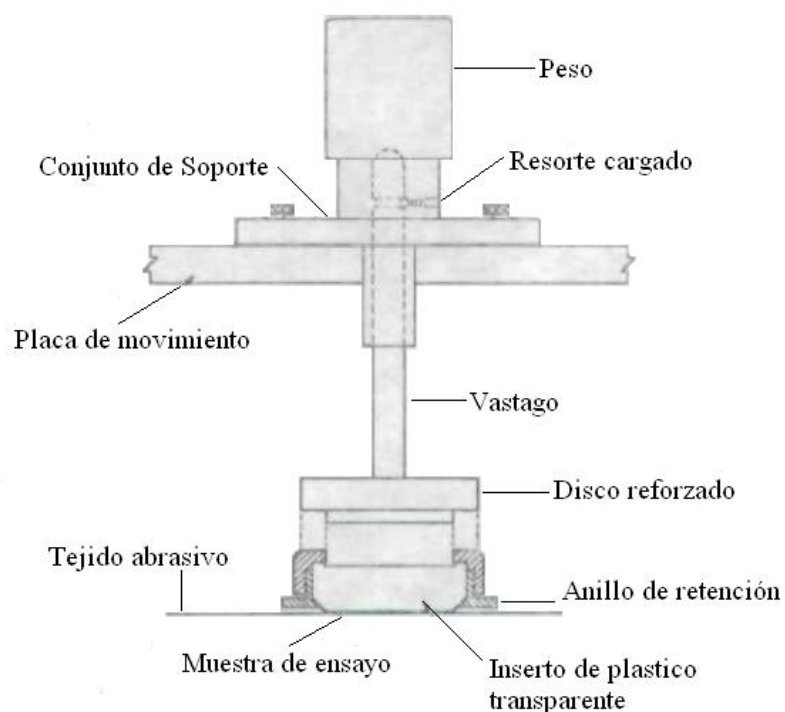


**Figura 22. Una vista general de la abrasión Tester Martindale modificado en 1972 [31].**

En 1979 Se creó un porta muestras mejorado para el probador de abrasión Martindale, incorporando dos novedades principales. En primer lugar, una copa de metal que normalmente

se utilizaba para respaldar la muestra es sustituida por un inserto de plástico transparente y en segundo lugar, el tubo de metal que conecta el soporte de la muestra con la placa de movimiento se pudo separar del soporte de muestra. En la Figura 23 se pueden observar estos cambios.

El disco situado en el extremo del vástago encaja en la parte superior del soporte de la muestra. El movimiento de la placa y la presión debida a la carga sobre la muestra son transmitidas de manera eficiente al soporte de la muestra a través de la unidad del vástago y el disco. El peso se mantiene sobre la punta por una bola cargada por un resorte, que se localiza en una ranura en el vástago. Este peso es un práctico mango que se puede desmontar. La disposición de este inserto facilita ver la muestra y da acceso a esta muy fácilmente [32].



**Figura 23. Diagrama esquemático que muestra el soporte de la muestra mejorada en el año de 1979 para probador de abrasión Martindale. [32].**



Ya para 1986, IWS (Integrated Workforce Solutions) desarrolla nuevo paño para el Martindale definiéndolo como SM25, producido por James H. Heal, que hasta ahora se utiliza y es un paño de lana de tejido estándar que sirve como abrasivo para ejecutar una prueba de abrasión en este equipo [33].

### **Normas aplicables al Martindale**

El Martindale es un equipo flexible pues permite realizar pruebas de abrasión y Pilling para textiles. El Pilling es una prueba adicional que provee este equipo y determina la resistencia a la formación de bolitas y otros cambios relacionados en la superficie de algunos tejidos, es por eso que el equipo ofrece ventajas puesto que sirve para diversas funciones en donde se evalúan propiedades de abrasión. El M235 cumple con los siguientes estándares:

- ✓ Norma ASTM D4966 (abrasión)
- ✓ Norma ASTM D4970 (Pilling).
- ✓ BS 5690: 1991 (sustituida por la norma BS en ISO 12947-1)
- ✓ BS 3424: Parte 24 (método 27A)
- ✓ BS en ISO 12947-1
- ✓ BS en ISO 12947-2
- ✓ Norma de la india IS 12673 (Abrasión plana Método 1)
- ✓ IWTO-40-88 (E)
- ✓ J.I.S estándar japonés L 1096
- ✓ M & S P17 y 19
- ✓ ISATRA PM31 (Incluyendo prueba húmeda)
- ✓ Norma Suiza SN 198 y SN 525 198 529 [41].

Es esencial que cuando se vaya a trabajar en este equipo se haga referencia a la norma adecuada ya que cada una asume parámetros propios que determinan acciones y técnicas similares para trabajar en el equipo y no es correcto que se combinen estas normas.

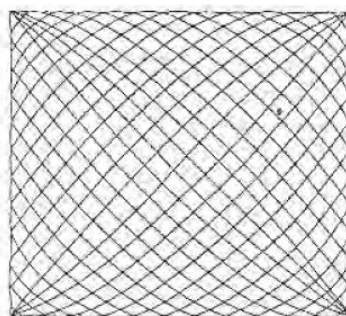
### **Descripción del equipo Martindale**

El equipo de abrasión Martindale tiene varios dispositivos y accesorios, como se muestra en la Figura 24. Tiene una placa base y un mecanismo de movimiento (cabezal). Una muestra circular, es montada en un soporte y se somete a una carga definida, se frota contra un medio abrasivo (tejido de lana estándar) en un movimiento de traslación trazando una curva o figura

de Lissajous, como se muestra en Figura 25, es decir, una línea recta, que se convierte cada vez en una amplia elipse, hasta que se forme otra línea recta en la dirección opuesta.



**Figura 24. Equipo de abrasión Martindale, modelo: M235, adquirido por la Universidad Pontificia Bolivariana Medellín [41].**



**Figura 25. Figura Lissajous [HRN iso12947-1:2008][1]**

El porta muestras está ubicado en el cabezal y puede girar libremente alrededor de su propio eje, perpendicular al plano de la muestra. El punto final de la prueba se define es cuando dos hilos se rompen para el caso de los textiles o cuando se aprecia una rotura en el caso de otros materiales flexibles [2,3].

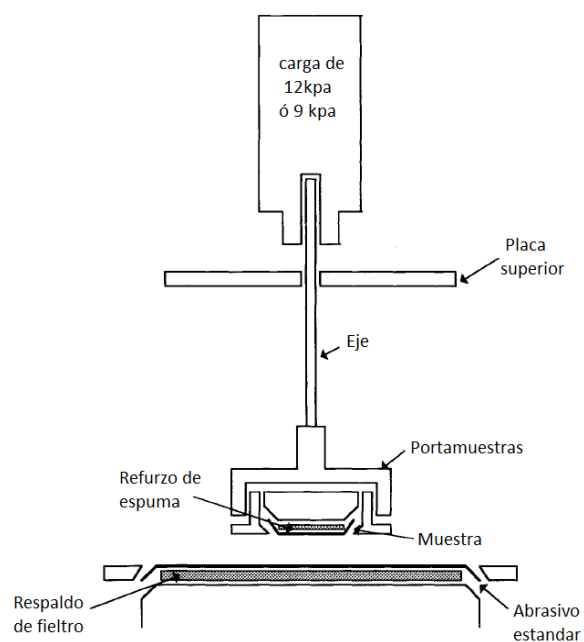
Este equipo puede crear otros tipos de figuras ya que cuenta con tres tipos de posiciones para realizar pruebas de abrasión. Para una prueba de abrasión, la figura que se genera es la Lissajous; para una prueba de Pilling la figura que se genera es la misma pero de menor proporción y para una prueba de línea recta, el tipo de figura es su mismo nombre. Estos tipos de figuras fueron investigadas por Nathaniel Bowditch en 1815, y más adelante en más detalle por J. A. Lissajous en 1857 [27].

El comienzo de funcionamiento de este probador para trazar la figura Lissajous, empieza con una línea recta, que se convierte en una elipse y se ensancha gradualmente, hasta que se forme otra línea recta en la dirección opuesta y se sigue la misma figura de nuevo, bajo condiciones conocidas de presión y acción abrasiva. El desgaste se desarrolla aplicando una fuerza sobre una tela y actúa transversalmente al eje de esta, como resultado de la fricción de la superficie. El aumento de fricción que se desarrolla en la superficie, está directamente relacionada con la dureza del abrasivo de tela de lana peinada.

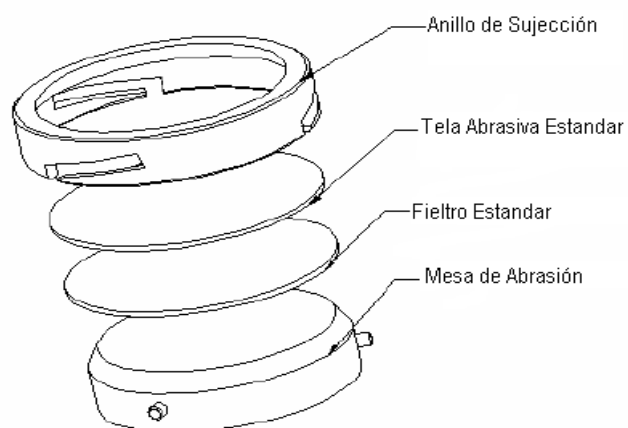
Asimismo para que se origine dicha figura es necesario ilustrar y preparar cada uno de los componentes que contiene el probador. Para empezar, se hace el montaje del soporte para muestras luego un eje que contiene un peso en uno de los extremos, ya sea 9 kPa (para los tejidos de prendas de vestir) o 12 kPa (para tapicería y tejidos técnicos), se fija a través de la placa superior y se inserta al soporte para muestras para aplicar una fuerza al espécimen.

Se hace el montaje respectivo del abrasivo en la estación del probador. El abrasivo debe ser reemplazado al inicio de cada prueba o después de 100000 ciclos [24]. En las Figuras 26, 27 y

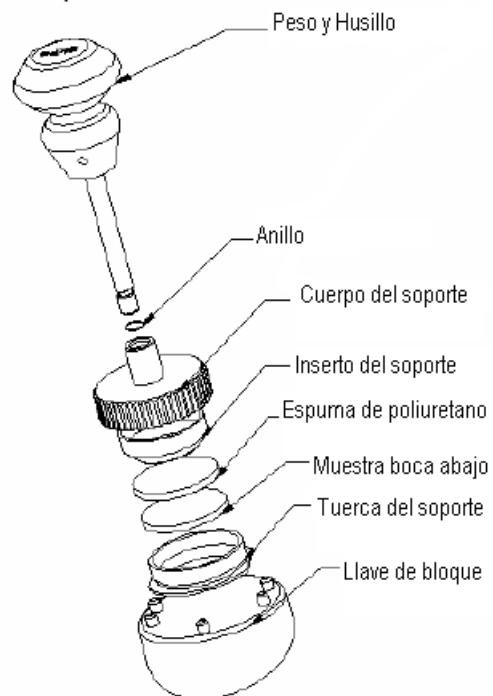
28 respectivamente se observa un esquema completo de una estación del equipo Martindale y las vistas explosionadas de una estación del equipo y del soporte para muestras.



**Figura 26. Esquema completo de un puesto del probador de abrasión Martindale [27].**



**Figura 27. Una estación de probador de abrasión [41].**



**Figura 28. Vista explosionada de un soporte para muestras [41].**

Asimismo, el abrasivo que normalmente se utiliza para la prueba en este equipo, es papel de carburo de silicio o tejido estándar de lana peinada, que se refiere a un método particular de hilado que se vuelve en un hilo con un giro ajustado. Cuando este hilo retorcido se teje, el resultado es un tejido de lana que es, a la vez, fuerte y cálido, con una superficie lisa y suave [51]. En la Tabla 3, se indican las especificaciones de fabricación según la norma ASTM D4966 para este tipo de material.

**Tabla 3. Especificaciones para abrasivo de tela de lana estándar (ASTM D 4966) [24].**

	URDIMBRE	TRAMA
Hilos por unidad de longitud	17/cm	12/cm
Giro individual	540 ±20 tpm 'Z'	500 ±20 tpm 'Z'
Giro doble	450 ±20 tpm 'S'	350 ±20 tpm 'S'
Diámetro de Fibra	27,5 ±20 μm	29 ±20 μm
Masa por unidad de área de tela	195 g/m <sup>2</sup>	

Las unidades presentadas a continuación tienen el siguiente significado:

- ✓ Tpm: Torsiones por metro.
- ✓ 'Z': Sentido de giro de la torsión del hilo en dirección de las manecillas del reloj (derecha).
- ✓ 'S': Sentido de giro de la torsión del hilo en dirección contraria a las manecillas del reloj (izquierda).
- ✓  $\mu\text{m}$ : Micras, en donde  $1 \mu\text{m} = 0.001 \text{ mm}$ .

### **Criterios de evaluación para una prueba de abrasión en el Martindale**

Existen diferentes opciones para la evaluación de las telas expuestas a abrasión. Para la prueba en el Martindale se especifican tres tipos según la norma ASTM.

- El primero es encontrar el punto final que cuenta el número de ciclos hasta que la tela llegue a rupturas de dos o más hilos o hasta que aparece un orificio. El punto final será diferente de acuerdo con el tipo de tejido; para la abrasión de la estructura tejida se continúa hasta que dos hilos se rompen, mientras que para tejido de punto, un hilo roto causando un agujero basta.
- El segundo es la evaluación de los cambios visuales que se produjeron como resultado de la prueba. En este caso, el punto final se evalúa contra de la escala de grises de AATCC para cambio de color. Se alcanza el punto final cuando el cambio de color se evaluó como la calificación en escala de grises AATCC de 3 o más bajo.

- La tercera es la evaluación de la tela desgastada por un tiempo determinado o el número de ciclos en términos de algún aspecto, como la pérdida de masa, la pérdida de fuerza, los cambios en el grosor o de otra propiedad. La pérdida después de la abrasión, se reporta como un porcentaje calculado por la fórmula:

$$\text{Pérdida porcentual (\%)} = ((AB) / A) * 100$$

Dónde: A = peso antes de la abrasión, y B = peso después de la abrasión [24]. En la Tabla 4 se describen los intervalos de ciclos para determinar la rotura de un tejido textil en la prueba de abrasión con el Martindale.

**Tabla 4. Intervalos para la medición de la pérdida de peso [24].**

SERIES	CICLOS DE ABRASIÓN EN LA ROTURA DE LA MUESTRA	CICLOS DE ABRASION PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO
a	≤ 1000	100, 200, 500, 1000, (1250)
b	> 1000 ≤ 5000	500, 750, 1000, 2500, 5000, (7500)
c	> 5000 ≤ 10000	1000, 2500, 5000, 7500, 10000, (15000)
d	> 10000 ≤ 25000	5000, 7500, 10000, 15000, 25000, (40000)
e	> 25000 ≤ 50000	10000, 15000, 25000, 40000, 50000, (75000)
f	> 50000 ≤ 100000	10000, 25000, 50000, 75000, 100000 (125000)
g	> 100000	25000, 50000, 75000, 100000, (125000)

### **Factores que afectan a una prueba de abrasión en un equipo Martindale**

Como ya se señaló existen factores que pueden afectar a los resultados de un ensayo de abrasión. A continuación se indican y se hace una descripción de cada uno de ellos [27].

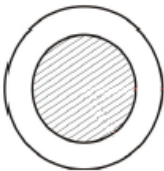
- a. Tipo de abrasión: puede ser clasificada de la siguiente manera:
- Plana: Cuando un área plana de una muestra es sometida a la acción de frote.



- En el doblés: Por ejemplo, el tipo de desgaste que se produce en el cuello y los pliegues de una prenda
  - Con flexión: En este caso la fricción es acompañada de fuerzas de flexión [50].
- b. Tipo de abrasivo: Diferentes abrasivos se han utilizado en estas pruebas. Cuando se quiere efectuar una prueba con el Martindale, el abrasivo es un elemento fundamental ya que la acción de este debe ser constante durante toda la prueba y es posible que propiamente se desgaste durante el ensayo cambiando sus propiedades abrasivas.

El equipo de estudio para este trabajo de grado tiene como abrasivo un tejido estándar de lana peinada. En la Tabla 5 se observa la geometría de la muestra para el probador de abrasión Martindale M235.

**Tabla 5. Geometría de la muestra [34].**

GEOMETRÍA DE LA MUESTRA	ÁREA TOTAL	SUPERFICIE ABRASIVA
		VALOR (cm <sup>2</sup> )
 <p><b>Martindale</b></p>	$A = \pi R^2$	11,34

- c. Presión: La presión entre el abrasivo y la muestra, afecta la severidad y la velocidad a la que se produce la abrasión. Se ha demostrado que el uso de diferentes presiones puede alterar seriamente el comportamiento a la abrasión de tejidos utilizando un abrasivo particular. La

destrucción acelerada de las muestras mediante una mayor presión u otros factores pueden conducir a conclusiones falsas en el comportamiento de la tela.

d. Velocidad: Por lo que se dijo anteriormente, un aumento de la velocidad de frotamiento por encima de la que se encuentra en el uso diario puede traer conflictos al hacer un ensayo acelerado. Por ejemplo estos ensayos no permiten ninguna relajación de las fibras y tejidos.. La temperatura de la muestra puede aumentarse por las altas velocidades de rozamiento, lo que puede afectar a las propiedades físicas de las fibras termoplásticas, siempre y cuando la muestra las posea.

e. Tensión: Es importante que la tensión de la muestra montada sea reproducible ya que esto determina el grado de movilidad de la muestra bajo el abrasivo aplicado. Esto incluye la capacidad de compresión de la espuma de soporte.

f. Dirección de la abrasión: En muchas telas, para la resistencia a la abrasión en la dirección de la urdimbre difiere de la dirección de la trama. Idealmente, el movimiento de fricción utilizado por una máquina abrasión debe ser tal, como para eliminar los efectos direccionales [27].

En general, una prueba de abrasión en textiles es aconsejable seguir una perspectiva de análisis integrado, asumiendo el comportamiento de éste, como una propiedad del sistema. En otras palabras el análisis, no está limitado a la evaluación de los efectos y comportamientos en

los materiales, pero se encarga de los cambios en la geometría de contacto, la rugosidad, entre otros [20].

## 1.6 CASOS DE ESTUDIO DE ABRASIÓN

### ❖ *Aplicaciones de las pruebas de abrasión*

Cualquiera que sea el mecanismo de desgaste será considerado como un proceso destructivo. En la mayoría de los casos es considerado como un proceso no deseado. El problema más importante de la abrasión es que puede reducir en gran medida la vida de los materiales. La resistencia a la abrasión es importante en todos los sectores de mercado, sobre todo en el sector textil, de transporte, productos industriales y de la construcción. Esta es la razón principal por la cual los elementos que trabajan en contacto se desgasten, y es una gran amenaza para fines de seguridad, tales como cuerdas, cinturones de seguridad y equipo de protección personal.

La prueba de abrasión en el Martindale es ideal para la mayoría tejidos. Pero cuando se trata por ejemplo de las telas para alto rendimiento muchos otros métodos de abrasión se consideran. Los materiales textiles que se emplean para hacer telas de alto rendimiento se conocen como textiles técnicos y se refieren a tejidos que se fabrican principalmente con propiedades específicas, tales como fibras de alta tecnología, que se caractericen porque son capaces de retener sus características físicas para un tiempo más largo de duración y por su

alta calidad. Estas nuevas generaciones de materiales textiles de alta calidad, se identifican por tener unas mayores propiedades físicas, mecánicas y de resistencia a los impactos en diferentes usos, mientras que al mismo tiempo son idóneos por la facilidad de retener las propiedades textiles, tales como la solidez del color, estabilidad dimensional, buena resistencia a la abrasión [36]. Los campos en que se clasifican son:

- ✓ Geotextiles (ingeniería civil).
- ✓ Vestimenta de protección personal.
- ✓ Automoción y transporte.
- ✓ Agricultura, jardinería y pesca.
- ✓ Embalaje.
- ✓ Edificación.
- ✓ Medicina e higiene.
- ✓ Prendas de deporte y tiempo libre.
- ✓ Calzado e indumentaria.
- ✓ Interiorismo y decoración.
- ✓ Filtración.
- ✓ Protección del medio ambiente [37].

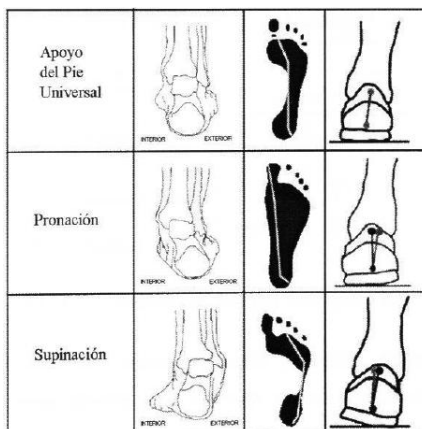
Una prueba de abrasión es muy importante para este tipo de materiales avanzados ya que permite pronosticar un lapso de tiempo en el que estos podrán desempeñar la función para la cual fueron elaborados, es decir su idoneidad para cumplir el trabajo sin acarrear problemas.

Algunas aplicaciones para estos textiles técnicos se presentan y son:

- a) La automoción, exige una gran cantidad de material y los textiles no son una excepción.

Todo vehículo de tamaño medio utiliza entre 12 y 14 Kg de materia textil, sin incluir cuerdas para neumáticos y fibras que se utilizan en materiales compuestos. El 65% de esta cantidad se utiliza, en el interior (40 a 45 m<sup>2</sup> de material textil por coche) con un peso entre 350 y 450 g /m<sup>2</sup> para el tapizado asientos. Del mismo modo se tienen criterios para el revestimiento textil interior que es un componente esencial y un espacio que influye en el proyecto de fabricación un automóvil [34].

- b) En la medicina del deporte, un ejemplo práctico es llevado al atletismo. El calzado que usan a lo largo de los entrenamientos y juegos puede ir mostrando alteraciones y deformaciones en lo que se refiere al desgaste. Este detalle para la acción deportiva, puede traer consecuencias puesto que puede ir revelando de forma notoria lo que podría ocurrir a los tobillos y los pies del deportista. En la figura 29 se puede observar problemas como pronación o supinación [23]. Una buena elaboración de estos materiales apoyados en una prueba de abrasión podrían reducir el desgaste de la suela del calzado y por ende prevenir estos posteriores percances que afectarían su actividad.



**Figura 29. Diagnostico del tipo de pisada por medio del desgaste. [23]**

- c) En la elaboración de los trajes de los bomberos, la resistencia a la abrasión es un factor importante que afecta a la funcionalidad y la durabilidad de su uso. Este uniforme está compuesto por un forro térmico que a su vez contiene tres capas diferentes: forro térmico de fibra de algodón, barrera contra la humedad y una cubierta externa. Sobre la resistencia a la abrasión del componente del forro térmico de fibra de algodón se puede esperar que no se afecte la capacidad del traje para mantener la integridad física a lo largo de la vida útil de la prenda de vestir de bombero [38], puesto que esta vestimenta es la principal arma de protección que tienen contra las actividades diarias de su labor.
- d) Los materiales textiles también han encontrado aplicaciones en el campo de la cosmética. Un estudio que hizo *The Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University* utilizaron, un compuesto textil cosmético a base de silicona disponible en el mercado como (CTA) para los beneficios de cuidado de la piel y lo utilizaron para la fabricación de los textiles cosméticos. Establecieron métodos de caracterización para evaluar el desempeño en términos de identificación de los materiales, propiedades de rendimiento de la tela, así como seguridad y respuesta biológica a la piel humana. La durabilidad del textil cosmético era considerablemente satisfactoria con respecto a los ciclos de resistencia a la abrasión y lavado. Los resultados experimentales también ilustran que los productos textiles cosméticos probablemente podría mejorar la sustitución de las células con los recién regenerados en la estructura de la piel del cuerpo humano proporcionando una sustitución de componentes de la piel más eficiente [40].

- e) En un tejido plano como puede ser un jean, para proporcionarle un acabado a la superficie que de un efecto de decoloración se implementa un método llamado proceso de decoloración por abrasión y consiste en frotar la tela para disminuir el colorante utilizando diferentes herramientas como son: un cepillo industrial, chorro de arena, lija, tela perchada, etc. Una prueba de abrasión para esta operación es necesaria puesto que permite descubrir hasta donde se puede llevar a cabo los anteriores procesos sin que pueda resultar daños irreversibles, no deseables, como por ejemplo un agujero y que se logren alcanzar tales efectos de decoloración.
- f) Los calcetines son un elemento necesario de la ropa, tienen que ser prendas cómodas, que puedan retener su calidad durante toda su vida útil. La abrasión por lo general en este tipo de prenda ocurre en el talón, la suela y dedos de los calcetines. La vida útil de los calcetines es más corta que las demás materias textiles debido a la mayor abrasión dentro de los zapatos durante su uso. En una primera etapa de abrasión para esta prenda, las fibras tienden a soltarse de la superficie de la tela llevando a una degradación de las fibras en el tiempo por lo que se originan agujeros [24]. Una prueba de abrasión es obligatoria para este aspecto, gracias a que esta permite mejores estudios sobre desgaste acerca de la prenda y concede información a tener en cuenta para la fabricación de las prendas con una mayor calidad.

g) Los guantes de caucho natural poseen excelente resistencia a la abrasión, cortes y desgarros. Conserva su flexibilidad y durabilidad a temperaturas comprendidas entre  $-17^{\circ}\text{C}$  y  $150^{\circ}\text{C}$  [39]. Sirven para la construcción, manejo de materiales filosos, láminas de acero o materiales abrasivos como bloques de hormigón o cemento, industria petrolera, industria del gas, en donde están sometidos a constante frotamiento y por ende a abrasión.

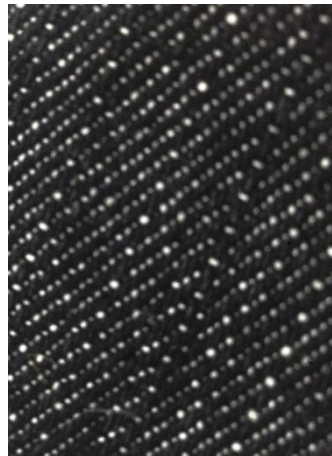


## CAP 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### MATERIALES

Para llevar a cabo las pruebas físicas se contó con un tipo de tela de algodón (jean) y un tipo de material natural (cuero), utilizados para este estudio, que se ven a continuación en la Figura 30 se puede ver la tela de jean de la que se va a disponer la cual tiene las siguientes características:

- ❖ *Tela para jean (tejido). IE – Mali Black*
- ✓ Fabricación - Fecha: Coltejer – 2006/11/27
- ✓ Composición: Algodón / Lycra / 98 / 2 [%]
- ✓ Lote: ES009012Z



**Figura 30. Tela de Jean**

La tela para fabricar jean es un tejido con ligamento de sarga es decir un tipo de textil tejido con un patrón de nervaduras paralelas diagonales. El ligamento se obtiene por medio de un escalonado, formando rayas en diagonal [52].

❖ *Cuero curtido al cromo con pintura*

El cuero es una capa de tejido que recubre a los animales y tiene propiedades de resistencia y flexibilidad, el cual se le realiza un procedimiento de curtido que se basa en la utilización de vegetales en su mayoría de plantas tropicales, que evita que estos, con el paso del tiempo, se resequen. Las pieles, son sometidas a la acción de diferentes agentes químicos que interaccionan con las fibras del colágeno para obtener un cuero estable y durable. El curtido, consiste en transformar el colágeno de la piel en cuero por una reacción química. [42]. En la Figura 31 se observa el cuero. Se escoge este material ya que tiene un contraste diferente a la tela y para tener datos de al menos dos materiales diferentes.



**Figura 31. Cuero curtido al cromo**

Se intenta reconocer el daño que se obtiene al implementar una prueba de abrasión en un equipo Martindale, efectuándolo con los dos tipos de materiales mencionados. Adicionalmente

se quiere estudiar los patrones de deterioro que se dan después de haber implementado la prueba con la intención de observar características como picaduras, degradaciones, y determinar el tipo de desgaste.

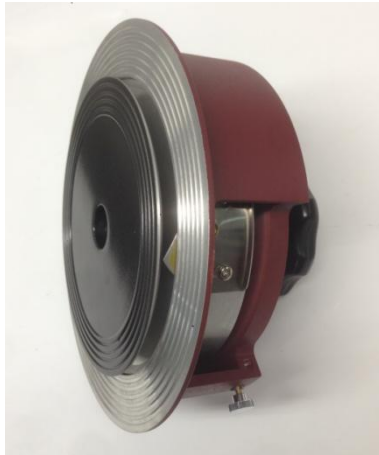
## MÉTODOS

Los materiales anteriormente mencionados son los que se someterán a la prueba de abrasión. Para ello se tendrán en cuenta dos normas ASTM. Primero el método de prueba estándar para determinar la masa por unidad de área (D3776) y segundo el método de prueba estándar para resistencia a la abrasión de textiles (D4966).

Se cortan los materiales con unos dispositivos que trae el equipo Martindale aparte y que se puede observar en la Figura 32, cortadora M235A para las muestras y la Figura 33, la cortadora M235B para el abrasivo tela de lana peinada. Cabe aclarar que el respaldo de fieltro que es necesario adicionarle al abrasivo ya viene cortado de fábrica.



**Figura 32. Cortadora M2325A**



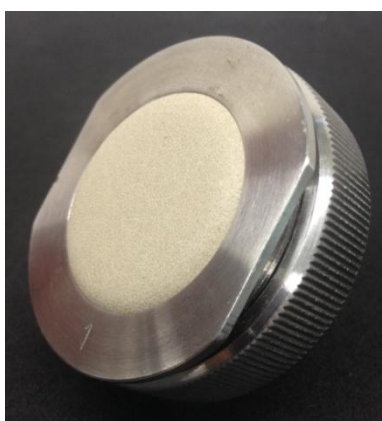
**Figura 33. Cortadora M2325B**

Se pesan 10 muestras diferentes de cada material, para determinar del peso por área que poseen, teniendo en cuenta que el área de contacto de la muestra es de  $11,34 \text{ cm}^2$  y la forma como la norma ASTM D3776 describe la manera de obtener los datos. A continuación se muestra en la Tabla 6, los pesos de las muestras por unidad de área y el resultado del promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de las muestras.

**Tabla 6. Pesos de las muestras antes de someter algunas a la prueba.**

<b>Muestras</b>	<b>Peso Cuero [gr/cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Peso Tela [gr/cm<sup>2</sup>]</b>
1	0,7553	0,4104
2	0,798	0,4052
3	0,7573	0,4036
4	0,7558	0,4088
5	0,7763	0,4013
6	0,7702	0,4037
7	0,7801	0,3964
8	0,7556	0,3987
9	0,7692	0,4061
10	0,76	0,4131
<b>Promedio</b>	0,768	0,4038
<b>Desviación estándar</b>	0,014	0,0052
<b>Coefficiente de variación</b>	1,8232	1,2808

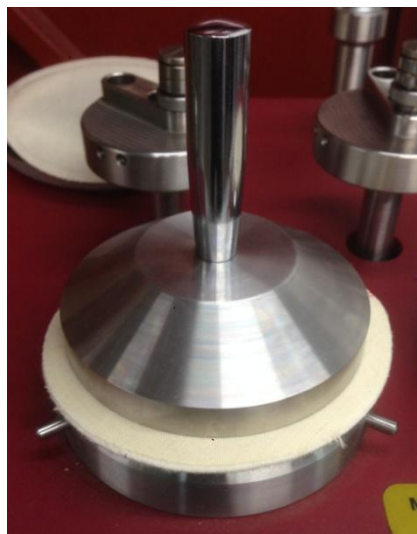
Se cortan las muestras, luego se hace el montaje de los especímenes en los portamuestras, posteriormente se hace el montaje de las estaciones en el Martindale y se termina con el ensamble de los pesos con los porta muestras junto con la placa base. En la Figura 34 y 35 se observa el montaje de los dos materiales en dichos dispositivos.

**Figura 34. Ajuste del cuero.**



**Figura 35. Ajuste de la tela.**

Adicional a esto se arman las estaciones del Martindale añadiéndole el fieltro, el abrasivo y luego prensándolos con la masa para luego enroscar el anillo de sujeción y quede finalmente el montaje terminado. La Figura 36 muestra la confección del montaje en una estación del Martindale y en la Figura 37 la terminación de este ajuste.



**Figura 36. Confección del montaje en una estación del Martindale.**



**Figura 37. Estación del Martindale con el abrasivo.**

### **CRITERIO DE TERMINACIÓN DE PRUEBA**

La finalización del ensayo será la ruptura de uno o dos hilos para el tejido y con este detalle se determinará la serie junto con el intervalo de ciclos de abrasión que proporciona la Tabla 4, donde se establecerán los ciclos de pausa para realizar las respectivas mediciones del peso de las muestras y sus respectivas fotografías para ir llevando un muestreo de lo que va aconteciendo durante la prueba.

Para el cuero, no se tienen referencias acerca de la terminación de una prueba de abrasión pero se determinará la finalización del ensayo en el último ciclo de la serie anteriormente establecida con la prueba de la tela o sea a los 50000 ciclos ya que del cuero no se espera que exista una ruptura por tanto solo se tendrá los cambios de pérdida de peso.

### **CAP 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cuanto a pérdida de peso en gramos de los dos tipos de materiales que se sometieron a la prueba de abrasión Martindale. Fueron cuatro muestras de cada material previamente cortadas y pesadas. Iniciando desde el objetivo general, se valida el protocolo anteriormente elaborado, realizando dichas pruebas.

Inicialmente, para la investigación, se planteó incluir un registro fotográfico de los diferentes momentos en que se pararía el Martindale, teniendo ya establecidos los intervalos de los ciclos en que se daría tal situación. Sin embargo se tuvo en cuenta el pesaje de las muestras sin retirarlas del soporte en donde estaban sujetas, para prevenir pérdida de material al efectuar dicha operación y así no ocurra una diferencia grande entre la pérdida real por desgaste al implementar la prueba, que por la pérdida de material al manipular las muestras.

A continuación se muestran las tablas de los resultados y fotografías obtenidas de la prueba en cada detención de ciclos instaurados más el resultado de la pérdida de peso. Esta pérdida de peso es parcial entre cada intervalo de ciclos. Para la tela en la Tabla 7 se muestra pérdida de peso y en la tabla 8 el resultado de la pérdida de peso promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

En la Figura 38 se observa la gráfica asociada a la prueba para este material de las cuatro muestras de tela. Posteriormente en las Tablas 9–12, las fotografías respectivas en cada detención de la prueba.



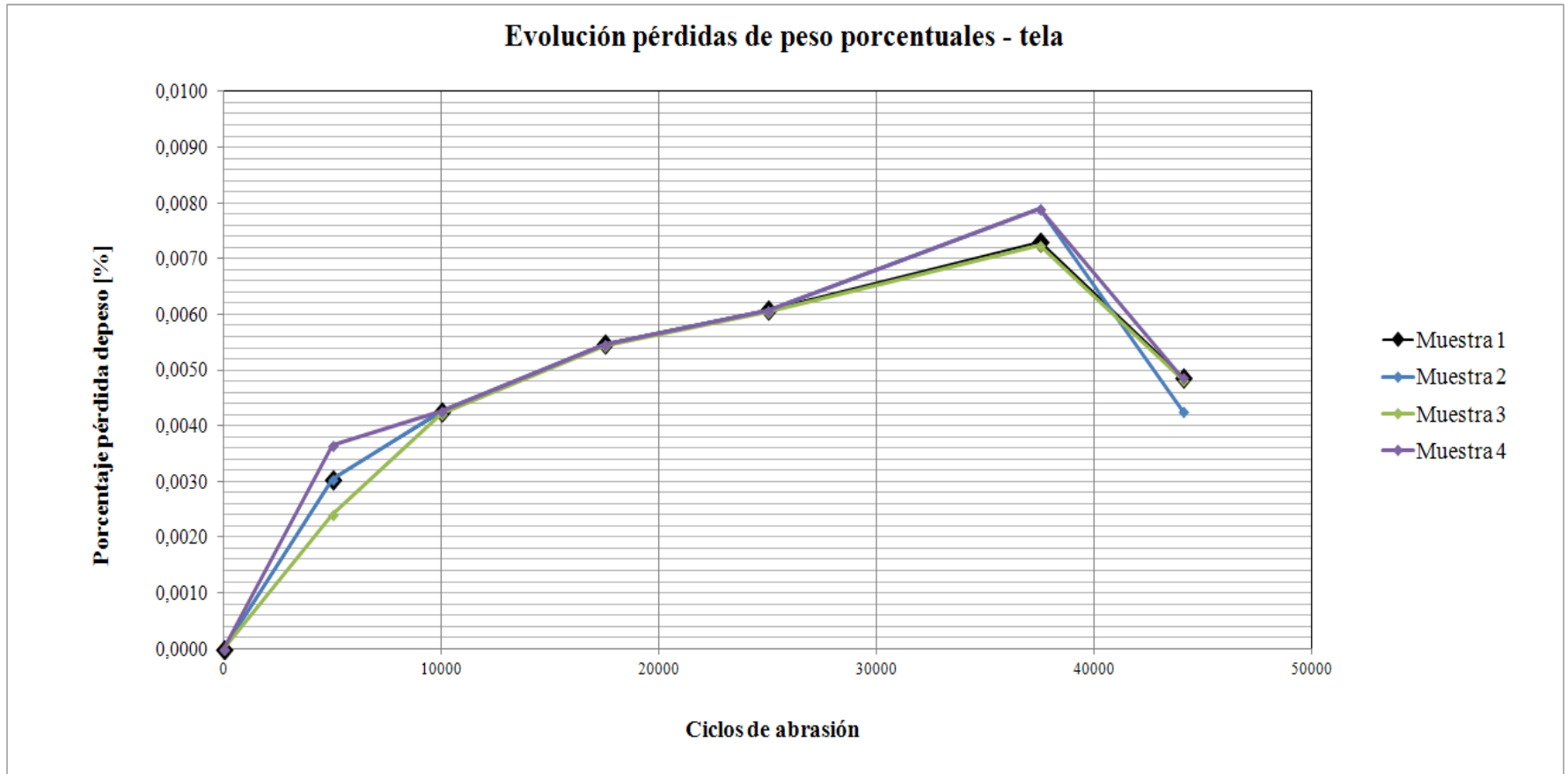
Del mismo modo se presentan los resultados para el cuero. En la tabla 13 se muestra pérdida de peso. Esta pérdida de peso es parcial entre cada intervalo de ciclos. En la Tabla 14 se muestra el resultado de la pérdida de peso, desviación estándar y coeficiente de variación. En la Figura 39 se observan la gráfica asociada a la prueba para este material de las cuatro muestras del cuero y posteriormente en la tablas 15–18 las fotografías respectivas en cada detención de la prueba.

**Tabla 7. Pérdida de peso de las muestras de tela por ciclos de abrasión.**

Muestras	Ciclos de Abrasión	Peso del ensamble [g]	Pérdida de Peso [%]
1	0	164,241	-
	5000	164,236	0,0030
	10000	164,229	0,0043
	17500	164,22	0,0055
	25000	164,21	0,0061
	37500	164,198	0,0073
	44100	164,190	0,0049
2	0	164,666	-
	5000	164,661	0,0030
	10000	164,654	0,0043
	17500	164,645	0,0055
	25000	164,635	0,0061
	37500	164,622	0,0079
	44100	164,615	0,0043
3	0	165,628	-
	5000	165,624	0,0024
	10000	165,617	0,0042
	17500	165,608	0,0054
	25000	165,598	0,0060
	37500	165,586	0,0072
	44100	165,578	0,0048
4	0	164,647	-
	5000	164,641	0,0036
	10000	164,634	0,0043
	17500	164,625	0,0055
	25000	164,615	0,0061
	37500	164,602	0,0079
	44100	164,594	0,0049

**Tabla 8. Promedio, desviación estándar de la pérdida de peso tela.**

Ciclos de Abrasión	Promedio pérdida de peso con ensamble [gr]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
0	164,796	0,589	0,357
5000	164,791	0,589	0,358
10000	164,784	0,589	0,358
17500	164,775	0,589	0,358
25000	164,765	0,589	0,358
37500	164,752	0,589	0,358
50000	164,744	0,589	0,358



**Figura 38. Pérdida porcentual de peso de las muestras de Tela.**

**Tabla 9. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (a)**

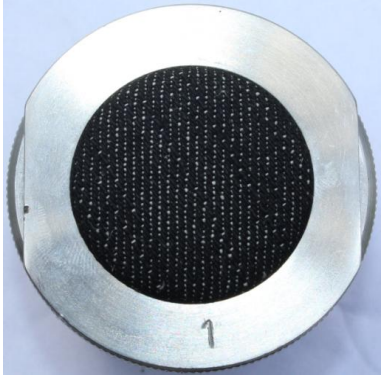
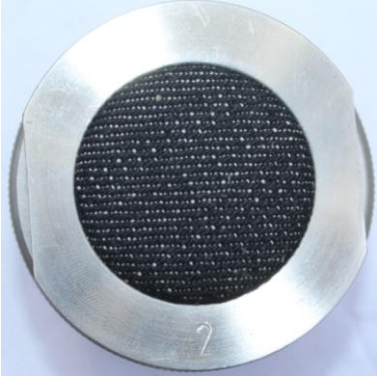

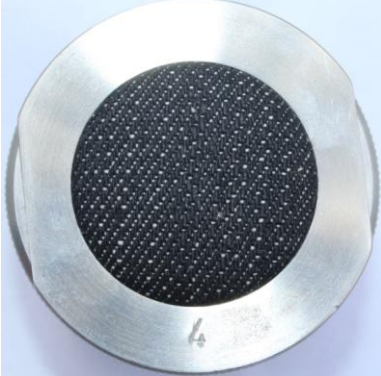
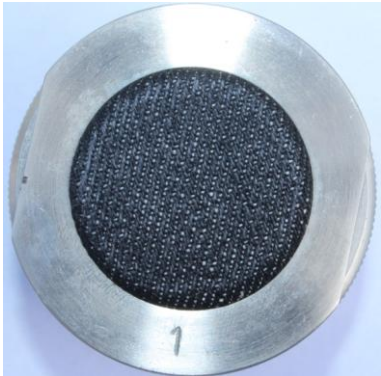



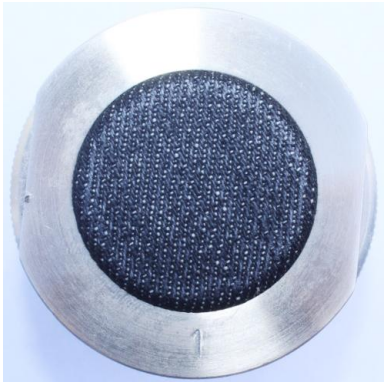


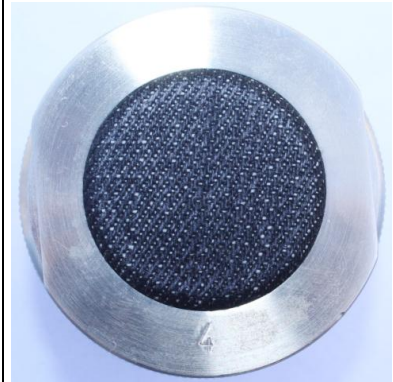




Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
1	$\Delta m$ [%]	-	-	-	-
	0 ciclos				
2	$\Delta m$ [%]	0,0030 %	0,0030 %	0,0024 %	0,0036 %
	5000 ciclos				

Tabla 10. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (b)

Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
3	$\Delta m$ [%]	0,0043 %	0,0043 %	0,0042%	0,0043 %
	10000 ciclos				
4	$\Delta m$ [%]	0,0055 %	0,0055 %	0,0054 %	0,0055 %
	17500 ciclos				



**Tabla 11. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (c)**

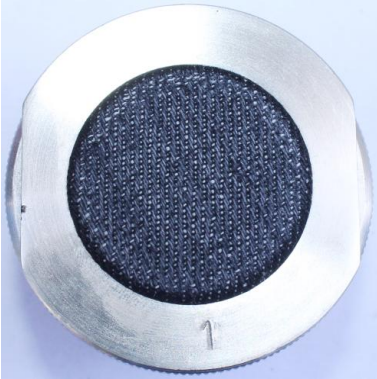











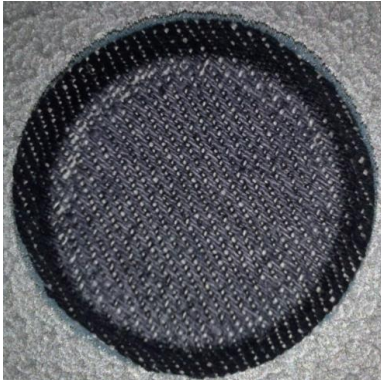

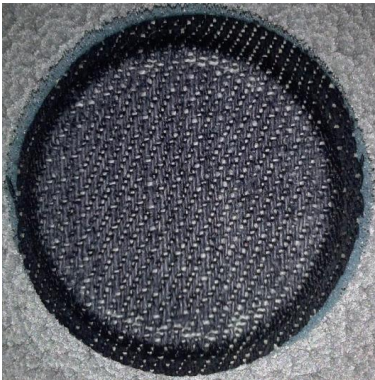

Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
5	$\Delta m[\%]$	0,0061 %	0,0061 %	0,0060%	0,0061 %
	25000 ciclos				
6	$\Delta m[\%]$	0,0073 %	0,0079 %	0,0072 %	0,0079%
	37500 ciclos				

Tabla 12. Fotografías Evolución de las Muestras Tela en el Martindale (d)

Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
7	$\Delta m$ [%]	0,0049 %	0,0043 %	0,0048 %	0,0049 %
	44100 ciclos				
8	$\Delta m$ [%]	-	-	-	-
	Finalizada				

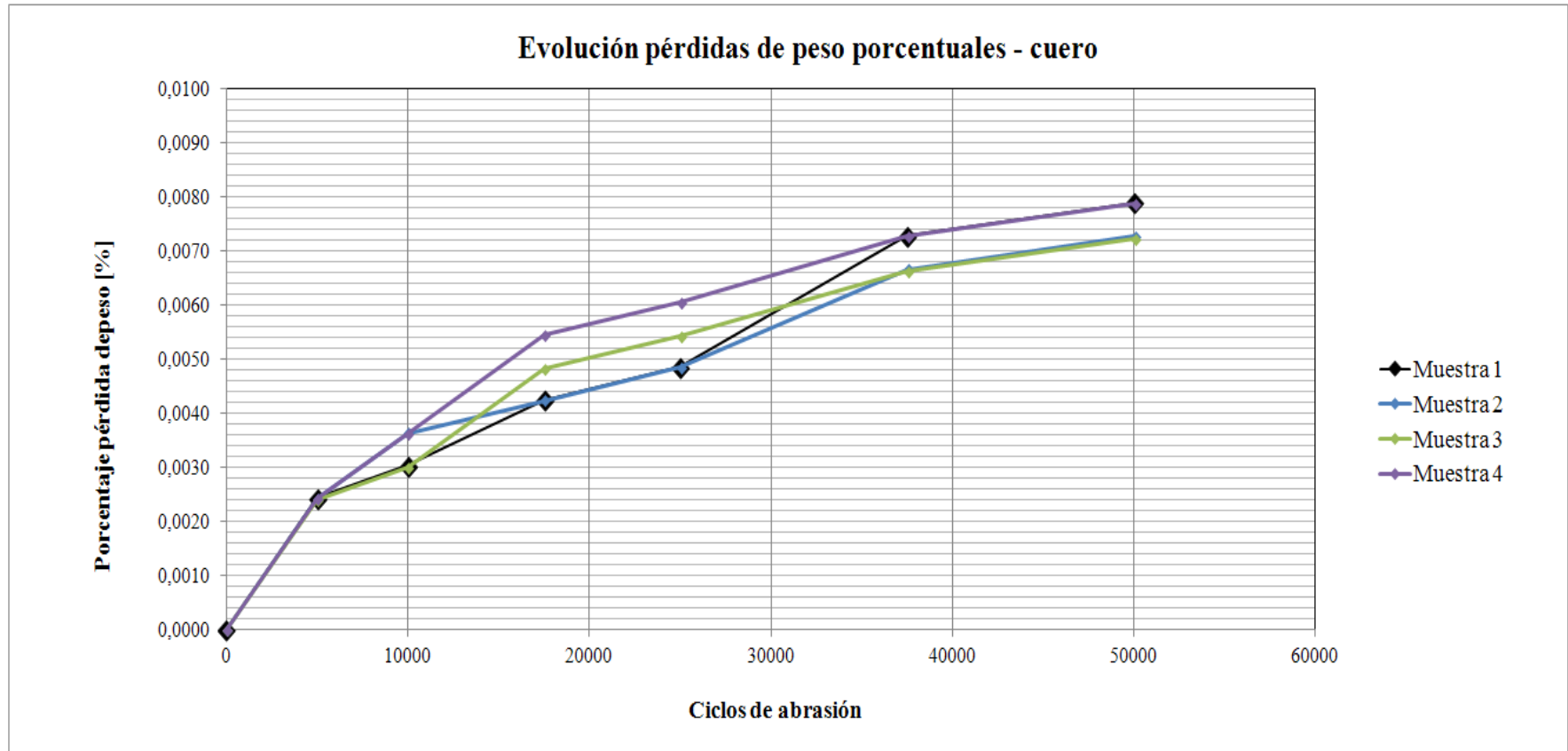


**Tabla 13. Pérdida de peso de las muestras del cuero por ciclos de abrasión.**

Muestras	Ciclos de Abrasión	Peso del ensamble [gr]	Pérdida de Peso [%]
1	0	164,611	-
	5000	164,607	0,0024
	10000	164,602	0,0030
	17500	164,595	0,0043
	25000	164,587	0,0049
	37500	164,575	0,0073
	50000	164,562	0,0079
2	0	165,026	-
	5000	165,022	0,0024
	10000	165,016	0,0036
	17500	165,009	0,0042
	25000	165,001	0,0048
	37500	164,99	0,0067
	50000	164,978	0,0073
3	0	166,008	-
	5000	166,004	0,0024
	10000	165,999	0,0030
	17500	165,991	0,0048
	25000	165,982	0,0054
	37500	165,971	0,0066
	50000	165,959	0,0072
4	0	165,038	-
	5000	165,034	0,0024
	10000	165,028	0,0036
	17500	165,019	0,0055
	25000	165,009	0,0061
	37500	164,997	0,0073
	50000	164,984	0,0079









**Tabla 14. Promedio, desviación estándar de la Pérdida de Peso cuero.**

Ciclos de Abrasión	Promedio pérdida de peso con ensamble [gr]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
0	165,171	0,592	0,359
5000	165,167	0,592	0,359
10000	165,161	0,593	0,359
17500	165,154	0,592	0,359
25000	165,145	0,592	0,358
37500	165,133	0,592	0,359
50000	165,121	0,593	0,359











**Figura 39. Pérdida de peso de las muestras de Cuero.**









**Tabla 15. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (a)**

Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
9	$\Delta m[\%]$	-	-	-	-
	0 ciclos				
10	$\Delta m[\%]$	0,0024 %	0,0024 %	0,0024 %	0,0024 %
	5000 ciclos				

**Tabla 16. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (b)**

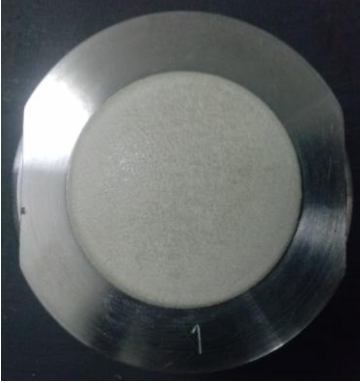







Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
11	$\Delta m$ [%]	0,0030 %	0,0036 %	0,0030 %	0,0036 %
	10000 ciclos				
12	$\Delta m$ [%]	0,0043 %	0,0042%	0,0048 %	0,0055 %
	17500 ciclos				

**Tabla 17. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (c)**

Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
13	$\Delta m[\%]$	0,0049 %	0,0048 %	0,0054 %	0,0061%
	25000 ciclos				
14	$\Delta m[\%]$	0,0073 %	0,0067 %	0,0066 %	0,0073 %
	37500 ciclos				



**Tabla 18. Fotografías Evolución de las Muestras Cuero en el Martindale (d)**

Muestra / Parámetros De prueba		APARIENCIA SUPERFICIE			
15	$\Delta m$ [%]	0,0079 %	0,0073 %	0,0072 %	0,0079 %
	50000 ciclos				
16	$\Delta m$ [%]	-	-	-	-
	Finalización				

## **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.**

De acuerdo a la Tabla 9-12 se observa que en las primeras detenciones hay cambios de atenuación del color en la tela. Se evidencia además, diminutas fibras que comienzan a sobresalir sobre la superficie del abrasivo. Cabe destacar que las muestras al tener un color diferente al del abrasivo se logró observar mejor como iban quedando motas en esta superficie. Asimismo, a medida que se hacían las detenciones se notaba aún más este fenómeno con una decoloración más atenuada. Algunos autores [24], expresan que las superficies de los textiles en un principio, se empiezan a adaptar y las fibras tienden a desenredarse y debilitarse por el efecto de la abrasión.

Antes de llegar a la finalización de la prueba se pudo observar una particularidad de los 25000 a los 37500 ciclos y fue que alrededor de los bordes de las muestras se empezó a notar un mayor desgaste. Puede deberse a que como las muestras están en contacto con el portamuestras se generen mayor tensión por partes de las fibras y la abrasión altere más estas zonas que por ejemplo las fibras que se encontraban ubicadas hacia el centro de la muestra en donde las fibras están más relajadas.

La degradación fue tal en los bordes, que se llegó a uno de los criterios establecidos de finalización de la prueba como fue el rompimiento de hilos, generando abundantes pelusas, que efectivamente, sucedió a los 44100 ciclos, y también se tuvo en cuenta el criterio de determinar la pérdida de peso. Este ensayo se realizó a velocidad de 71.2 rpm, que



corresponde a 1,5 x velocidad estándar. Se realizó así, por mejor fluidez en la prueba.

Para el cuero, como no se presenta rotura, se decide terminar a los 50000 ciclos ya que el criterio de evaluación que se determinó para la finalización de la prueba fue desgastarlo por ciertos ciclos, 50000 ciclos, e irle determinando la pérdida de peso. Se puede observar en las cuatro muestras un desgaste asociado a un cambio leve del color, usualmente desde el exterior de la muestra hacia el interior y es debido a que el proceso de abrasión está perturbando la capa de recubrimiento que tiene el cuero en su superficie.

El material tela de jean presenta un cambio más notorio en las diferentes detenciones comparándolo con el cuero, ya que la tela posee fibras de algodón que aunque están firmes, es un material altamente poroso y discontinuo, al someterlas a un contacto prolongado, contra un abrasivo tienden a soltarse las fibras generando posteriormente agujeros. Caso contrario acontece con el cuero que es tratado con un proceso químico que le da mayor resistencia y flexibilidad y no tiene este tipo de estructura de fibras, que como se pudo verificar cuando realizaron las pruebas de abrasión en el equipo Martindale, tiene una resistencia a la abrasión mayor comparada con el *jean*.

El daño aparente que se dio en esta prueba Martindale fue con pérdida de material, es decir que el desgaste es de tipo abrasivo en donde la pérdida de peso se debe a el desprendimiento de pequeñas partículas. El arranque de estas partículas es producido por el contacto entre las muestras y el material abrasivo designado tejido de lana estándar, en donde se adhieren y se resaltan los desprendimientos de la muestra.

No se consideró la existencia de los otros tipos de desgaste en esta prueba ya que a la culminación de la misma no se presentó ningún indicio que permitió verificar lo que la teoría nos ilustró acerca de estos. Además esto corrobora lo presentado en la Tabla 1, donde se presenta el mecanismo de abrasión por deslizamiento que consiste en que un elemento se va mover en una superficie generando abrasión y esto mismo acontece en la prueba Martindale, se frota un material sobre una superficie corrugada plana más dura para provocar abrasión al material.

Las gráficas asociadas al cuero presentan patrones similares. La pendiente de la gráfica en el primer tramo de los 5000 ciclos muestra una pérdida acelerada de masa muy marcada. Cuando se llega a los ciclos intermedios de la prueba está pendiente tiende a disminuir mostrando un comportamiento asintótico de la pérdida de masa hacia los ciclos finales. Esto puede atribuirse a que el material removido genera una interfaz que no favorece la pérdida de material. Igualmente sucede para la tela, sin embargo el intervalo entre 37500 y los 44100 ciclos la pendiente se vuelve negativa y es por la cantidad de ciclos contemplados el cual es menor cuando se compara con los intervalos antes evaluados y por eso la pérdida de peso acumulada en este intervalo es menor que para los otros.

Según el coeficiente de variación que se obtuvo, el comportamiento entre la misma muestra es reproducible para los dos materiales, lo que hace pensar que el ensayo permite obtener resultados precisos, repetibles y reproducibles para un grupo de muestras con las mismas características.

Artículos relacionados al estudio del comportamiento de una prueba de abrasión Martindale que se tuvieron en cuenta para este trabajo muestran que efectivamente se observa un comportamiento similar a las pruebas realizadas en este trabajo. Esto se comprueba por el trabajo hecho por M. Topalbekiro [52], en donde se probaron siete tejidos elaborados con algodón y de diferentes direcciones de tejido. Cuando se compara el trabajo anterior con este, se obtiene que las pérdidas de peso son similares en magnitud de gramos. También las gráficas asociadas, dado que un aumento en el número de ciclos tiene un efecto directo y significativo en una mayor pérdida de material.

## CONCLUSIONES

- Se definió el protocolo elaborado a partir de las normas afines para este tipo de prueba, que es una descripción clara de pasos a realizar y que fueron confirmados en este trabajo ya que a medida que se realizaba cada prueba se logró ajustarlo y verificarlo.
- Se validó el protocolo de ensayo para pruebas de abrasión del equipo Martindale M235-4 adquirido por la Universidad Pontificia Bolivariana que permitirá un manejo adecuado del mismo para evaluar materiales textiles y flexibles.
- Con el protocolo ya definido, se logró la evaluación de los dos materiales seleccionados obteniendo particularidades de cada cual, es decir que el cuero reveló mayor resistencia a la abrasión que la tela por ser un material continuo que al ser sometido a una transformación en el proceso de curtido hace que sea flexible y resistente. La tela obtuvo una resistencia menor a la del cuero; era de esperarse ya que es un material que se produce por el tejido de fibras de algodón y tiene menor cohesión en comparación al cuero.
- Se corrobora que el mecanismo de abrasión presente en las dos muestras evaluadas es por abrasión por deslizamiento, el cual consiste en el movimiento de un elemento sobre una superficie de mayor rugosidad, generando abrasión lo cual es el fundamento de la prueba Martindale.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. S. Škoc and Emira. Pezelj, “Abrasion Resistance of High Performance Fabrics, Department of Materials, Fibres and Textile Testing, Faculty of Textile Technology, University of Zagreb Croatia”, pp 36 - 51
- [2] M. Somogyi, “Martindale-aparat za ispitivanje otpornosti na habanje i piling,” *tekstil-zagreb-*, vol. 56, no. 9, pp. 573–575, 2007.
- [3] M. R. Test, “K o t h e a,” pp. 0–3.
- [4] Q. A. Consumables and U. K. Accred-, “Improving abrasion and pilling test”, 2004, pp. 2004–2006.
- [5] Derek Holmes. satra Martindale Tester STM 604. [Disponible en línea]: <http://www.satra.co.uk>.
- [6] J. G. Martindale. A new design of cloth wearing tester. *Journal of the Textile Institute Transactions*. Volume 33, Issue 9, 1942.
- [7] Abdullah, I., Blackburn, R. S., Russell, S. J. and Taylor, J., Abrasion phenomena in twill tencel fabric. *J. Appl. Polym. Sci*, 2008, pp 1391–1398.
- [8] K. Slater. The Progressive Deterioration of Textile Materials. Part II: A Comparison of Abrasion Testers. *Journal of the Textile Institute*. Vol. 78, Iss. 1, 1987.
- [9] Youn Hee Jeon, Won Young Jeong, Jung Woo Park, and Seung Kook An. The Mechanical Properties and Abrasion Behavior of Warp Knitted Fabrics for Footwear. *Fibers and Polymers*

2003, Vol.4, No.4, 151-155.

[10] Collier, B. J., Collier, J. R. and McDonald, J. E, Abrasion Resistance of Rayon/Nylon Composite Fibers. Home Economics Research Journal, 1989, pp 126–132.

[11] I. Holme, A. Peppas. The Wet Abrasion of Woven Wool Fabrics. Journal of the Textile Institute. Vol. 72, Iss. 6, 1981.

[12] Roger L. Barker, Ryan C Heniford. Factors Affecting the Thermal Insulation and Abrasion Resistance of Heat Resistant Hydro-Entangled Nonwoven Batting Materials for Use in Firefighter Turnout Suit Thermal Liner Systems. Journal of Engineered Fibers and Fabrics. Volume 6, Issue 1 - 2011

[13] Nazan Avcioglu Kalebek and Osman Babaarslan. A Study of Abrasion and Frictional Behaviour of Nonwoven Interlining Produced with Different Coating Methods. Fibers and Polymers 2011, Vol.12, No.3, pp 371-375

[14] J. M. Buist, Abrasion and Wear of Rubber. Analysis of Wear Curves. Rubber Chemistry and Technology: March 1952, Vol. 25, No. 1, pp. 107-109

[15] Ryan Pinto, Debra Carr, Mark Helliker, Liz Girvan, and Nicky Gridley. Degradation of military body armor due to wear: Laboratory testing Textile Research Journal July 2012, pp 1157-1163

[16] Ivona Jerkovic, Josep M. Pallares, Xavier Capdevila. Study of the abrasion resistance in the upholstery of automobile seats. Research Journal, Vol. 10, No1, March 2010

[17] Felipe Diaz del Castillo Rodriguez, “Lecturas de ingeniería 2: Tribología: fricción, desgaste y lubricación”, unam cuautitlan .2007.

[18] A. Naik and N. G. C. Andreo, “Resumen of wool fibres and their Résumé□”, 1999, pp. 39–45

- [19] M. Uzun and I. Patel, "Tribological properties of auxetic and conventional polypropylene weft knitted fabrics," vol. 44, no. 2, 2010, pp. 120–125
- [20] NPTEL, e-learning courses from the iits & iisc .[Web en linea]. Disponible: <http://nptel.ac.in/courses/112102015/2>
- [21] Proyecto Fin De Carrera, "Tribologia, introducción" [En línea]. Disponible: [http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/135/19/1\\_introduccion.pdf](http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/135/19/1_introduccion.pdf)
- [22] J. Votano, M. Parham, and L. Hall, "Chemistry & Biodiversity", Vol 1, Issue 11, November 2004, pp 1829–1841
- [23] "Desgaste". [En línea]. Disponible: <http://lopezva.files.wordpress.com/2011/09/tema-1-desgaste2.pdf>
- [24] Nilgün Özdil, Gonca Özçelik Kayseri and Gamze Süpüren Mengüç (2012). Analysis of Abrasion Characteristics in Textiles, Abrasion Resistance of Materials, ege university, izmir, turkey, march 2012, pp 120 - 142
- [25] George Susich, "abrasion damage of textile fibers," office of the quartermaster general research and development division textiles, clothing and footwear brach, 1954,
- [26] Z. M. A. M. N. A. Kotb, "Evaluation of Abrasion Behaviour of Knitted Fabrics under Different Paths of Martindale Tester," *Journal of American Science*, 2011;7, vol. 7, no. 7, pp. 164–169, 2011.
- [27] B P saville, "physical testing of textiles," Cambridge: England, 1999, pp. 195–200.
- [28] F. Sari, "The effects of structural parameters of shirting fabrics on abrasion resistance," 2011, pp. 23–27.
- [29] K. E. Y. Words and S. Terms, "Letters to the editor Morphological Changes in Wool Fibres during Fabric Wear and Abrasion-testing," pp. 281–287.

- [30] B. P. A, G. Athens, R. Randall, and T. Knoxville, "Abrasion Resistance Using Single-Fiber Transfer and Other Abrasion Testers," vol. 23, no. 2, pp. 11–16, 1991.
- [31] L. B. Archibald and B. J. Hill, "A Modified Martindale Abrasion Tester for Fabrics," pp. 76–78.
- [32] L. a. Allen, "An Improved Sample Holder for the Martindale Abrasion Tester," *Journal of the Textile Institute*, vol. 70, no. 5, pp. 216–218, May 1979.
- [33] V. Drive, W. Yorkshire, K. Kizer, R. Hill, C. D. Sweeny, S. Page, C. Hill, R. P. Doshi, P. Industries, M. Davis, and A. Paul, "' The wet processing specialists ' quality delivery," 1985.
- [34] C. Seats, "Study of the abrasion resistance in the upholstery of automobile seats," vol. 10, no. March, pp. 14–20, 2010.
- [35] Y. H. Jeon, W. Y. Jeong, J. W. Park, and S. K. An, "The mechanical properties and abrasion behavior of warp knitted fabrics for footwear," *Fibers and Polymers*, vol. 4, no. 4, pp. 151–155, Dec. 2003.
- [36] M. S. Škoc and E. Pezelj, "Abrasion Resistance of High Performance Fabrics."
- [37] I. Industrial and S. General, "Nuevas oportunidades : los textiles técnicos," pp. 85–90, 2003.
- [38] R. L. Barker and R. C. Heniford, "Factors Affecting the Thermal Insulation and Abrasion Resistance of Heat Resistant Hydro-Entangled Nonwoven Batting Materials for Use in Firefighter Turnout Suit Thermal Liner Systems," vol. 6, no. 1, 2011.
- [39] L. A. Piel, "Materiales y fibras textiles."
- [40] S. Y. Cheng, C. W. M. Yuen, C. W. Kan, K. K. L. Cheuk, J. C. O. Tang, and S. Y. Li, "A comprehensive study of silicone-based cosmetic textile agent," *Fibers and Polymers*, vol.



10, no. 1, pp. 132–140, Mar. 2009.

[41] SDL ATLAS, "M235-4 "Martindale abrasion and pilling tester: instrument manual".

[42] Wikipedia, la enciclopedia libre, [En línea]. Disponible:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Curtido>

[49] Qualitest,"advance textiles testing technology", [En línea]. Disponible:  
<http://www.worldoftest.com/martindale.htm>

[44] Hung ta instruments, [En línea]. Disponible: <http://www.ccsi-inc.com/p-abrader-hungta-martindale.htm>

[45] Made in china.com, [En línea]. Disponible: <http://haidaequipment.en.made-in-china.com/product/nbiEXjluLZcw/China-Textile-Martindale-Abrador-Rubbing-Tester-HD-207-4.html>

[46] J.A.KING & Company, llc, [En línea]. Disponible: <http://www.jaking.com/tft/fabric-garment-testing/martindale-abrasion-and-pilling-tester>

[47] Textiles Panamericanos.com, [en línea]. Disponible:  
[http://www.textilspanamericanos.com/Ediciones/2012/MarzoAbril/Art%C3%ADculos/La\\_Calidad\\_Cuenta\\_Como\\_Siempre](http://www.textilspanamericanos.com/Ediciones/2012/MarzoAbril/Art%C3%ADculos/La_Calidad_Cuenta_Como_Siempre)

[48] Cometeck texting machines, [En línea]. Disponible: <http://www.cometech.tw/chinese/Product-200874135829.htm>

[49] Textile innovation knowledge platform, [En línea]. Disponible:  
<http://www.tikp.co.uk/knowledge/material-functionality/abrasion-resistance/>

[50] EHow en español, [en línea]. Disponible: [http://www.ehowenespanol.com/lana-peinada-info\\_293762/](http://www.ehowenespanol.com/lana-peinada-info_293762/) Procesos de lavandería jeanería y ropa deportiva, [En línea].  
Disponible:<http://es.slideshare.net/ngcuriche/procesos-de-lavanderia-jeaneria-y-ropa->

deportiva

[51] Definición.de, [en línea]. Disponible: <http://definicion.de/abrasion/>

[52] M. Topalbekiro, “Influence of Fabric Pattern on the Abrasion Resistance Property of Woven Fabrics,” vol. 16, no. 1, pp. 54–56, 2008.