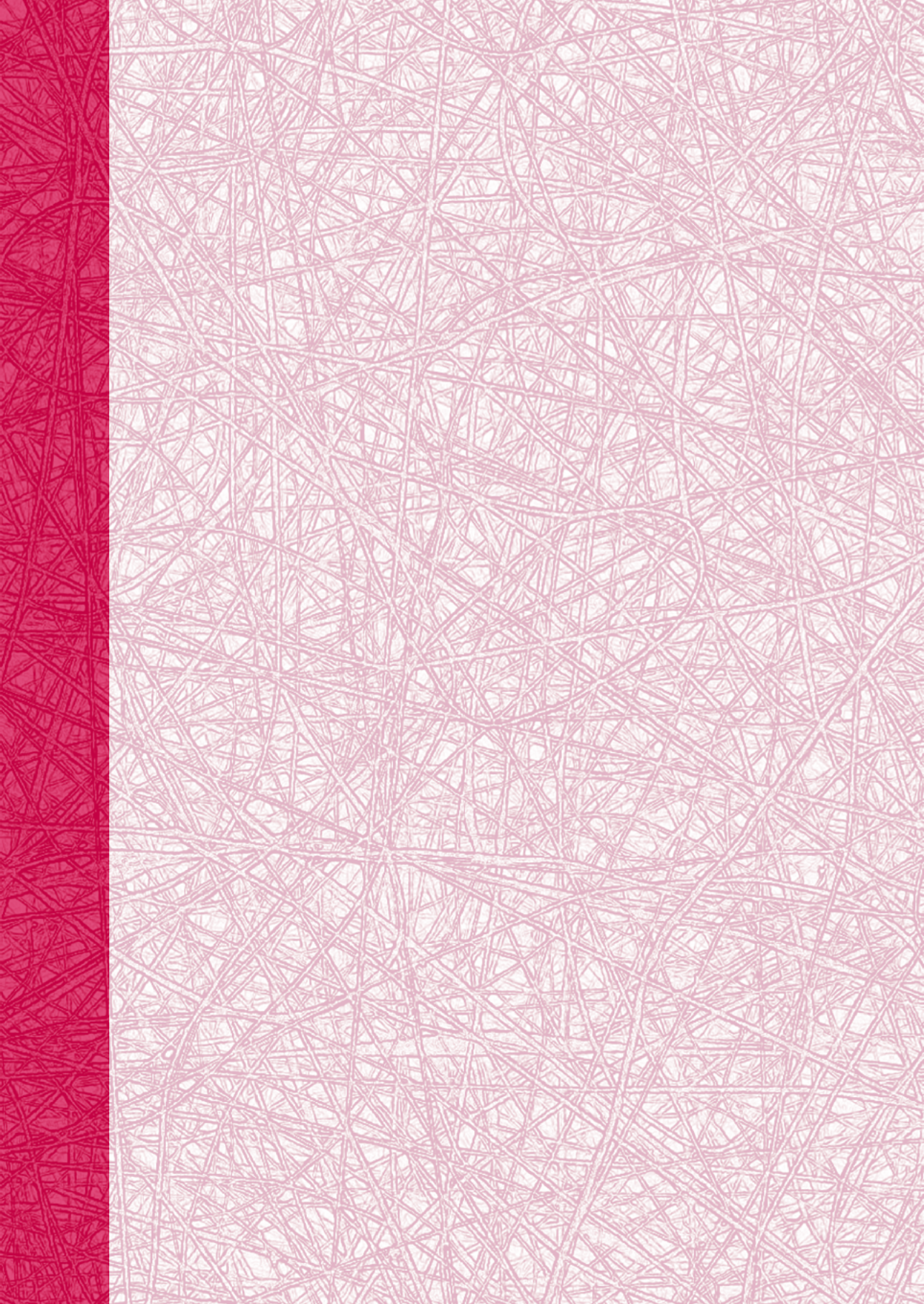


Protocolos para caracterización de no tejidos conformados por nanofibras

Mónica Liliana Mejía Suaza
Diana Paola Cuesta Castro
María Nela Galeano
Nelson Javier Escobar Mora
Beatriz Janeth Galeano Upegui
Lina Marcela Hoyos Palacio
Jenniffer Zapata Giraldo
Isabel Cristina Ortiz Trujillo
Luz Elena Botero Palacio



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**



Mónica Liliana Mejía Suaza
Diana Paola Cuesta Castro, María Nela Galeano,
Nelson Javier Escobar Mora, Beatriz Janeth Galeano Upegui,
Lina Marcela Hoyos Palacio, Jenniffer Zapata Giraldo,
Isabel Cristina Ortiz Trujillo, Luz Elena Botero Palacio.

Protocolos para caracterización de no tejidos conformados por nanofibras

Protocolos para caracterización de no tejidos conformados por nanofibras / Diana Paola Cuesta Castro, [y otros 7] - Medellín: UPB, 2019.
88 p.; 17 x 24 cm. -
ISBN: 978-958-764-753-2

1. Nanofibras – 2. Industria textil – 3. Fibras naturales – 4. Fibras sintéticas

CO-MdUPB / spa / rda
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Mónica Liliana Mejía Suaza
© Diana Paola Cuesta Castro
© María Nela Galeano
© Nelson Javier Escobar Mora
© Beatriz Janeth Galeano Upegui
© Lina Marcela Hoyos Palacio
© Jenniffer Zapata Giraldo,
© Isabel Cristina Ortiz Trujillo
© Luz Elena Botero Palacio
© Editorial Universidad Pontificia Boliviana
Vigilada Mineducación

Protocolos para caracterización de no tejidos conformados por nanofibras
ISBN: 978-958-764-753-2
DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-753-2>
Primera edición, 2019
Escuela Ciencias de la Salud

Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín: Mons. Ricardo Tobón Restrepo

Rector General: Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Vicerrector Académico: Álvaro Gómez Fernández

Decano de la Escuela de Ciencias de la Salud y Director de la Facultad de Medicina: Camilo Osorio Barker

Editor: Juan Carlos Rodas Montoya

Coordinación de Producción: Ana Milena Gómez Correa

Corrección de Estilo: Isadora González

Diagramación: María Isabel Arango Franco

Dirección Editorial:
Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2019
Correo electrónico: editorial@upb.edu.co
www.upb.edu.co
Telefax: (57)(4) 354 4565
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

Radicado: 1709-07-05-18

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

Tabla de contenido

Presentación	7
¿Cómo leer esta cartilla digital?	9
Capítulo 1. Conceptos básicos de textiles	11
1.1. Clasificación de los tipos de textiles.....	11
1.1.1. Textiles tejidos	11
1.1.2. Textiles no tejidos	12
1.2. Clasificación de los tipos de fibras textiles	15
1.2.1. Fibras naturales.....	15
1.2.2. Fibras sintéticas.....	16
1.2.3. Fibras tecnológicas o fibras funcionales modificadas o fibras nanoenabled	18
Capítulo 2. Propiedades funcionales de textiles aplicados al cuidado de la salud	21
2.1. Resistencia antimicrobiana.....	23
2.2. Protección UV.....	23
2.3. Superficies autolimpiantes.....	23
2.3.1. Actividad fotocatalítica	24
2.3.2. Superficies hidrofóbicas (repelencia al agua).....	24
2.4. Absorción de humedad	25
2.5. Retardantes de llama.....	25
2.6. Conductividad eléctrica / antiestáticos	26
2.7. Resistencia a la rotura (tracción) y al desgaste (abrasión)	26
2.8. Fibra de infrarrojo lejano	27



2.9. Fibra perfumada	27
2.10. Almacenamiento de calor y fibras textiles termorreguladas	283

Capítulo 3. Nanofibras textiles no tejidas 29

3.1. Procesos de fabricación de nanofibras no tejidas.....	29
3.1.1. Técnica de electrospinning	30
3.1.2. Meltblowing o soplado en fusión - Melt electrospinning.....	33
3.1.3. Nanofibras para el proceso wetlaid	36
3.1.4. Nanofibras bicomponente Sea-Island (Islas en el mar).....	37
3.1.5. Centrifugado - Forcespinning	38
3.1.6. Blow spinning o Electrospinning Gas Jacket	39
3.1.7. Magnetospinning.....	40
3.2. Métodos de ensayo estándar.....	41
3.2.1. Métodos de prueba ASTM	42
3.2.2. Métodos de prueba ISO.....	43
3.2.3. Métodos de prueba NTC.....	44
3.2.4. Métodos de ensayo NWSP	44
3.2.5. Métodos de ensayo AATCC.....	45

Capítulo 4. Caracterización de nanofibras no tejidos..... 47

4.1. Propiedades de caracterización física	47
4.1.1. Peso: masa por unidad de área.....	48
4.1.2. Espesor	52
4.2. Propiedades de resistencia térmica.....	56
4.2.1. Flamabilidad.....	56
4.3. Propiedades de manipulación de fluidos.....	60
4.3.1. Repelencia al agua y al alcohol	60
4.3.2. Ángulo de contacto al agua	64
4.4. Pruebas de caracterización mecánicas	68
4.4.1. Resistencia a la tracción	68
4.4.2. Resistencia a la abrasión	72
4.5. Estructura porosa.....	75
4.6. Porosidad.....	75

Referencias..... 79

Información sobre los autores 85

Presentación

El desarrollo de fibras textiles naturales o sintéticas con aplicación biomédica ofrece numerosas posibilidades en el manejo de pacientes y en el ámbito hospitalario. La incursión de nanopartículas en la estructura de textiles, tejidos y no tejidos, le otorgan nuevas posibilidades para aplicaciones en el área de la salud como apósitos para la curación y cicatrización de heridas, andamios en la ingeniería de tejidos aplicada en restauración de piel, liberación controlada de fármacos, inmovilización de enzimas, biosensores, generación de energía para rehabilitación, ropa de protección y cubiertas de uso hospitalario con propiedades antimicrobianas y de antifluidos.

Según el proceso de producción los textiles se clasifican en dos tipos, tejidos y no tejidos. En los primeros existe un hilado y alineación de las fibras, mientras que los segundos presentan una orientación anisotrópica o aleatoria; solo los textiles no tejidos permiten el desarrollo de nanofibras.

Las nanofibras textiles no tejidas tienen un diámetro inferior a 1 μm , con diferentes características topográficas como la alta porosidad y permeabilidad, así como una gran área de superficie por unidad de masa. Las nanofibras están conformadas por uno o más polímeros y son desarrolladas a través de procesos de electrospinning o electrohilado, meltblowing o soplado en fusión, wetlaid, sea-island, centrifugado - forcespinning, blowspinning y magnetospinning.

El diseño y desarrollo de textiles requiere establecer el uso final para el cual fueron creados y sus propiedades físicas, mecánicas y de fluidos, bajo protocolos internacionalmente definidos. Sin embargo, alrededor del mundo, cuando se desarrollan nanofibras no tejidas, existen divergencias en la selección y aplicación de los protocolos de caracterización, y en Colombia la situación es similar.

A partir de una exhaustiva revisión científica se elaboró esta cartilla digital con el objetivo de introducir la aplicabilidad de textiles en el área de la salud, dar a conocer los diversos protocolos de caracterización física: morfológica y estructural, química, mecánica y de tratamiento de fluidos que pueden ser utilizados en nanofibras textiles no tejidas y ofrecer una herramienta educativa a través de flujogramas de aplicación de las pruebas para no tejidos que facilitan la comprensión del proceso y el logro de un resultado válido.

Esta cartilla será de utilidad para proporcionar mediciones confiables de nanofibras textiles no tejidas que reflejen el rendimiento para un uso final comercial, antes de ser usada por una persona o como medida de protección de un área específica de una estructura u objeto.

- **Esta cartilla se desarrolló durante el proyecto de investigación Cubierta polimérica nanoreforzada como barrera de protección ante infecciones asociadas a la atención en salud, financiado por Colciencias 711-2015, contrato 121071149742.**
- **Los esquemas y fotografías de apoyo para los flujogramas se realizaron en los laboratorios de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.**

¿Cómo leer esta cartilla digital?

Según su interés y conocimiento del tema podrá leer esta cartilla en el orden del contenido o si le interesa un componente específico podrá darle clic para acceder a él.

En los capítulos iniciales se presentan los conceptos básicos de los textiles, tejidos y no tejidos, y su aplicación en el área de la salud. A continuación, se describe el proceso de fabricación de nanofibras no tejidas, los métodos de ensayo estándar y las pruebas que describen las propiedades físicas de tratamiento de fluidos y mecánicas de las nanofibras no tejidas. Se presentan bajo las normas internacionales o nacionales correspondientes. Cada prueba tiene disponible la información de la finalidad y alcance, definiciones, equipos y condiciones ambientales, precauciones, preparación de muestras, descripción de la rutina, evaluación, informe, flujograma y referencia.

Podrá acceder directamente a cada prueba, consultar la información detallada y revisar el flujograma de la aplicación que ilustra el seguimiento fotográfico del proceso.

Capítulo 1.

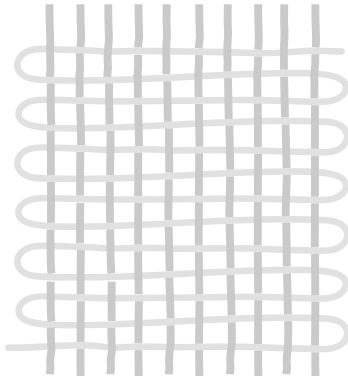
Conceptos básicos de textiles

1.1. Clasificación de los tipos de textiles

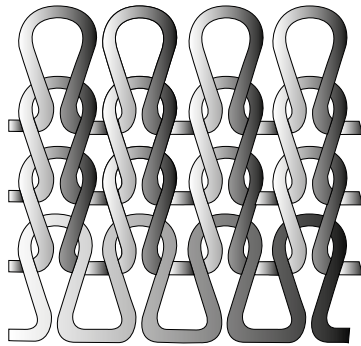
Los textiles son clasificados en dos tipos, tejidos y no tejidos, diferenciados principalmente por el proceso de producción y durabilidad. En los textiles tejidos las fibras son alineadas, hiladas y entrelazadas, mientras que en los no tejidos las fibras están distribuidas aleatoriamente. La durabilidad del textil tejido es mayor, por el contrario, los no tejidos a menudo son desechables, aunque algunos tienen una vida útil de hasta un año.

1.1.1. Textiles tejidos

Los textiles tejidos (Figura 1) se definen según la norma ASTM D4850 como: Estructura producida cuando al menos dos conjuntos de hilos están entrelazados por un proceso de tisaje, formando la urdimbre (hilos en sentido longitudinal) y la trama (hilos en sentido transversal), usualmente en ángulo recto entre sí, de acuerdo con un patrón predeterminado de entrelazado, y tal que al menos un conjunto es paralelo al eje a lo largo de la dirección longitudinal de la tela (1).

Figura 1. Textiles tejidos. Adaptado de: Texdelta, 2017 (2).

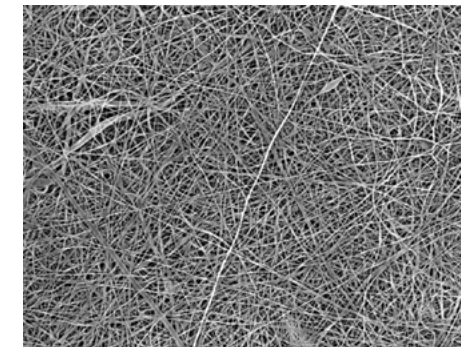
De acuerdo con la norma NWSP 001.0.R1 (15) y ASTM D4850 un textil tejido de punto (Figura 2) consiste en un hilo que se teje consigo mismo. En el proceso de fabricación se utilizan agujas para engarzar o entrelazar una serie de extremos de bucles, formando una cadena de mallas (1,3). Esta estructura le confiere la propiedad de elasticidad.

Figura 2. Textil tejido de punto. Adaptado de: Blog textil (4).

1.1.2. Textiles no tejidos

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 3911, equivalente a ISO 9092: 1988, los textiles no tejidos (Figura 3) se definen como:

Hoja manufacturada, velo o guata de material de fibras orientadas direccionalmente o al azar, unidas por fricción, cohesión y/o adhesión, mediante procesos mecánicos, químicos, térmicos o solventes y combinaciones de estos. Excluyendo el papel y los productos que son tejidos, mallados, empenachados, unidos mediante puntadas, incorporando hilos o filamentos de unión o fieltros mediante batanado en húmedo, que sean o no adicionalmente cosidos. Las fibras pueden ser de origen natural o hechas por el hombre y de filamentos discontinuos o continuos, o ser formadas in situ (5).

Figura 3. Textiles no tejidos. Adaptado de: Texdelta (2).

Los materiales textiles no tejidos son productos porosos y flexibles, que contienen una o más capas de fibras. Los textiles no tejidos se pueden clasificar como desechables de un solo uso (pañales, vendajes médicos, toallitas para el hogar y ropa de protección), o duraderos (la interfaz de la ropa, los tapizados y las alfombras de los automóviles) (6). El término "no tejido" aparece en la década de los 60 con su pionero Kendal, cuando estos se consideraban como sustitutos de los textiles tejidos tradicionales a bajo costo y se fabricaban a partir de tejidos cardados en seco usando una maquinaria de procesamiento textil modificada.

Algunos consumidores al referirse al término "no tejido" consideran que es una mercancía a granel, y un bien comercial de poco valor, cuando en realidad la industria de los no tejidos se ha tornado altamente rentable y sofisticada, lo que ha permitido la producción de fibras sintéticas a una alta velocidad y bajos costos, con funcionalidades (recubrimiento, laminación, antimicrobianos, etc.) y vida útil modificables de acuerdo con el uso final. Es actualmente una de las industrias con mayor inversión en nuevas tecnologías, y en investigación y desarrollo (I+D).

El término “no tejido” abarca diversos tipos de materiales que pueden diseñarse y considerarse como tales. Los no tejidos ofrecen características como peso ligero, optimización y soluciones a medida, uso de materiales sostenibles (biopolímeros reciclados), búsqueda de aumento de vida útil para reemplazar materiales desechables de un solo uso (7), barrera absorbente, suavidad, resistencia al fuego, impermeabilidad, resistencia al moho, retención de forma, compresible, porosidad, resistencia a las variaciones de temperatura, a la humedad, etc. (8), estas propiedades optimizan sus aplicaciones en diversos sectores tales como (7-9):

- **Medicina:** gorras, batas, máscaras para quirófanos, cortinas y mantas, vendas, ropa de camillas, cintas de sujeción, hisopos quirúrgicos, gasas para el cuidado de heridas con liberación controlada de fármacos, fundas de almohada, productos para la incontinencia. Dentro de los retos que tienen los no tejidos en medicina existe una necesidad de reducir el riesgo de infecciones adquiridas en el hospital, como *Clostridium difficile* (7-9).
- **Automotriz:** en la búsqueda de crear vehículos ligeros e híbridos se han encontrado aplicaciones interiores y exteriores de automóviles, tales como revestimientos internos de la carcasa del motor, tapetes, aislamiento del tablero, filtros de aceite, filtros de aire en la cabina del automóvil, airbags, techos de automóviles, forros de maletero, y separadores de batería (7-9).
- **Cuidado e higiene personal:** pañales, toallas húmedas, toallas higiénicas, tampones, tiras nasales, adhesivos para prótesis dentales, ropa interior desechable (7-9).
- **Filtración de líquidos, aire y gas:** los filtros presentan resistencia a temperaturas altas y tienen facilidad de penetración. Entre ellos se encuentran: filtros de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), aerosol de partículas de alta eficiencia (HEPA), aerosol de penetración ultra baja (ULPA); además de filtros para líquidos: aceite, líquidos refrigerantes, jugos de fruta y agua potable. La incorporación de nanofibras en los componentes no tejidos ayuda a mejorar la eficacia y el rendimiento de la filtración para partículas submicrométricas del aire de la cabina (7-9).
- **Geotextiles:** los materiales no tejidos como cubiertas para asfaltar carreteras o estabilización del suelo, se utilizan para reducir el tiempo en la construcción y proporcionar estabilidad y durabilidad. Para la gestión del flujo de agua se emplean no tejidos en aplicaciones de drenaje, membranas para la sedimentación y el control de la erosión, revestimientos de agujeros de agua y revestimientos de alcantarillas. Los geotextiles resisten la carga, el movimiento de la tierra y la transferencia de agua (7-9).

- **Aislamiento acústico y térmico:** paneles absorbentes de sonido, membranas de parlantes (7-9).
- **Ropa de protección:** trajes para protección contra incendios, ropa de alta visibilidad, cascos de seguridad y calzado industrial, trajes para protección química y biológica, entretelas (7-9).
- **Hogar:** pañuelos, limpiaparabrisas, bolsas de aspiradora, filtros para campanas de cocina, filtros de café, edredones, fundas de CD (7-9).
- **Agricultura:** cubiertas para invernaderos y cultivos, protecciones para semillas y raíces, telas para el control de plagas, ollas para plantas biodegradables, materiales para riego capilar (7-9).
- **Industria de la construcción:** aislamiento de cubiertas para techos, tableros para paredes de aislamiento térmico, decoraciones para techos y paredes, revestimientos para tubos, moldes para hormigón, estabilización de suelos, drenaje vertical, entre otras (7-9). Son bastante distintas de las aplicaciones de textiles tejidos, que se basan principalmente en ropa y fines domésticos (8).

1.2. Clasificación de los tipos de fibras textiles

El término ‘fibras textiles’ se refiere a aquellas que se pueden hilar o utilizar para fabricar telas o textiles mediante operaciones como tejido, trenzado o fieltado. Un material textil está compuesto por fibras, estas se pueden desarrollar con polímeros de origen natural o sintético. Las fibras también se pueden desarrollar con productos auxiliares aditivos (productos químicos destinados a mejorar ciertas características específicas o perfeccionar y optimizar la producción) es decir, textiles reforzados.

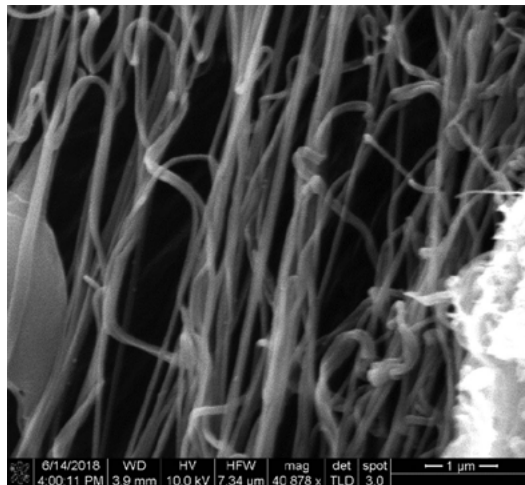
Una fibra textil es un elemento caracterizado por flexibilidad, finura y alta relación longitud/sección transversal, así como por una orientación longitudinal preferente de sus moléculas. La elección de las fibras para un uso final, depende de las especificaciones y propiedades del material polimérico, y de su rentabilidad (7,8).

1.2.1. Fibras naturales

Las fibras naturales para producir textiles son obtenidas de fuentes vegetales (lino, algodón, yute, fibra de coco, fibra de banano, cáñamo, secoya, fibra de hoja de piña, fibra de Lotus, fibra de kapok, caucho natural) y de fuentes animales compuestas de

proteínas (lana, seda) (7,8). La principal diferencia entre fibras naturales y sintéticas está en su composición química y estructural. Las fibras naturales tienen superficies desiguales y no homogéneas, tales como una sección transversal hueca o no circular (Figura 4), además, su estructura de múltiples fases las hace hidrófilas o hidrófobas. Las fibras sintéticas presentan una alta tasa de producción a un costo reducido; sin embargo, el uso de fibras naturales es sostenible y reduce las emisiones de dióxido de carbono (7).

Figura 4. Sección transversal hueca o no circular de las fibras naturales.



Adaptado de Barrera. B 2017 (10)

1.2.2. Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas son obtenidas a partir de fuentes artificiales o sintetizadas químicamente.

1.2.2.1. Fibras sintéticas de origen artificial

Son fibras tomadas de la naturaleza y moldeadas por el hombre, se caracterizan por ser derivadas de una base celulósica (fibra de celulosa, fibras basadas en proteínas (gelatina), quitosano, alginato de sodio, rayón, viscosa, y acetato (seda artificial). En salud dos de las fibras sintéticas con mayor aplicación son las siguientes:

- **Fibras basadas en proteínas - Gelatina Tipo A:** es un polímero con composiciones y propiedades biológicas casi idénticas a las del colágeno, es soluble en agua y económico. Las nanofibras de gelatina son empleadas para andamios de tejidos, cicatrización de heridas, dispositivos para el cuidado de la salud y otras aplicaciones biomédicas (11).
- **Agar, k-carragenano y carboximetil celulosa (CMC):** son polímeros biodegradables, biocompatibles, renovables anualmente y disponibles abundantemente. Con buena propiedad de formación de películas antimicrobianas (12).

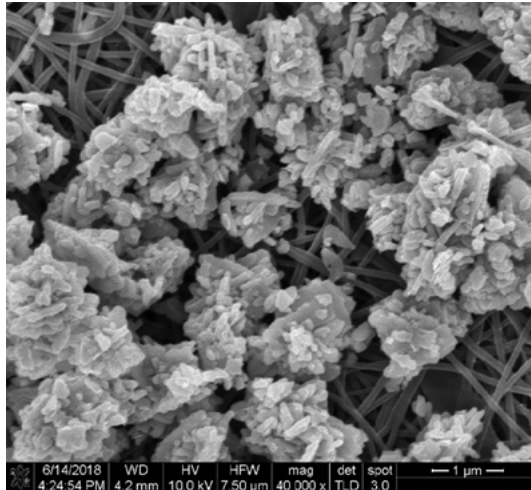
1.2.2.2. Fibras químicamente sintéticas

Son aquellas derivadas de una base no celulósica, hechas a base de resinas derivadas del petróleo: poliolefina, incluyen polietileno (PE) y polipropileno (PP), poliamidas, incluyen nylon 66 y nylon 6, poliéster, comercialmente conocido como el tereftalato de polietileno (PET), poliácronitrilo (PAN), spandex, conocido como poliuretano (PU), y el polivinil alcohol (PVA) (7,8).

En salud las fibras químicamente sintéticas con mayor aplicación son las siguientes:

- **Poliolefinas - Polipropileno PP isotáctico:** la fibra de polipropileno es una de las fibras sintéticas más utilizadas en la industria textil, algunas de sus ventajas son su economía, son ligeras, presentan alta resistencia química y alta absorbencia. En particular, el polipropileno se utiliza para aplicaciones sanitarias tales como máscaras quirúrgicas, pañales, filtros, bandas higiénicas, etc. (13).
- **Poliamidas - Nylon-6:** también conocido como poliamida 6 (Figura 5), es un material polimérico sintético de color blanco, biodegradable, biocompatible y tiene buenas propiedades mecánicas, tales como su dureza, elasticidad, tenacidad y resistencia a la abrasión, al desgaste, a la tracción, a las arrugas, a los aceites, resistencia química y térmica, capacidad de fácil procesamiento (14-17). Es empleado en piezas de automóviles, toallitas, separadores de baterías, gamuza sintética, cerdas de cepillos, alfombras y prendas de vestir de protección (18). Las nanofibras de Nylon 6 son prácticas, eficientes, con alta relación superficial, bajo campo eléctrico, con aspecto en forma de araña, duras, elásticas y con brillo (19-21). Estas han sido reportadas como medios eficaces de filtración de agua debido a su porosidad en los países subdesarrollados donde millones de personas mueren cada año debido a la contaminación de las fuentes de agua potable (14,15).

Figura 5. Micrografía Fe-SEM de nanofibras de Nylon 6 con 5%wt de nanopartículas de ZnO.



Adaptado de: H. Kim 2013 (21).

- **Poliéster - Tereftalato de polietileno (PET):** es semicristalino, transparente y termoplástico con alta resistencia. Se utiliza ampliamente para producir fibras, películas y materiales de embalaje con altas propiedades de barrera, prendas de vestir, tejidos industriales (22).
- **Spandex - Poliuretano (PU):** posee propiedades tales como flexibilidad a baja temperatura, resistencia a la abrasión, dureza controlable, transparencia, excelente estabilidad hidrolítica, elongación hasta un 400%, además de su excelente resiliencia e histéresis. Los poliuretanos se han utilizado en prendas de vestir y revestimientos textiles como impermeables y ropa de seguridad industrial (23).
- **Polivinil alcohol (PVA):** es empleado para aplicaciones de vendajes de heridas, andamios de ingeniería de tejidos y portadores de liberación de fármacos (24). La fibra de PVA (PVOH) soluble en agua es una de las fibras de unión solubles utilizadas en la industria textil y de fabricación de papel. Se puede usar como entretela de tela de encaje, fibra de refuerzo en hormigón o una película soluble en agua útil para el embalaje. Al cambiar el grado hidrolizado y modificar el grupo OH en COOH, el PVOH puede ser soluble en diferentes temperaturas de agua (7).

1.2.3. Fibras tecnológicas o fibras funcionales modificadas o fibras nanoenabled

Se han desarrollado fibras textiles, de acuerdo con la demanda del mercado, que no se mojan ni se arrugan ni se encogen ni se ensucian, que neutralizan los malos olores, son ignífugas, presentan conductividad eléctrica/antiestáticas, protegen contra los rayos del sol ultravioleta (UV), son antibacterianas, ofrecen perfumes o sensación de frescura, emiten rayos infrarrojos lejanos, almacenan calor, son termorreguladas, resisten a la rotura (tracción) y resisten al desgaste (abrasión), presentan superficies autolimpiantes (repelencia a la suciedad), además de actividad fotocatalítica y superficies hidrofóbicas (repelencia al agua), pueden absorber humedad, resistir a la decoloración, y a la luminiscencia, etc. (7).

Para lograr estas propiedades, se utilizan aditivos funcionales orgánicos o inorgánicos. Si se usan materiales inorgánicos, el tamaño de partícula (debe ser inferior a 1 μm) y su distribución debe evaluarse cuidadosamente y si se usan durante la hilatura en fusión se debe considerar su estabilidad térmica al mismo tiempo (7). El valor añadido derivado de la utilización de las nanopartículas y nanotubos de carbono son menores costos de procesamiento, menor consumo de energía y la reducción en los procesos químicos (25-27).

Capítulo 2.

Propiedades funcionales de textiles aplicados al cuidado de la salud

Existen diferentes propiedades o funcionalidades mejoradas en los textiles a partir de nanomateriales integrados con aplicación en el cuidado de la salud (Tabla 1).

Un agente antimicrobiano se define como una sustancia natural o sintética que mata o inhibe el crecimiento de microorganismos como bacterias, hongos y algas. Están disponibles comercialmente una amplia gama de agentes naturales y sintéticos, entre ellos, el triclosán, un agente sintético, no iónico, de amplio espectro, que posee propiedades antibacterianas y algunas propiedades antifúngicas y antivirales; el quitosano, un polímero natural biocompatible, se utiliza eficazmente como agente antibacteriano, antifúngico, antiviral, no alérgico; las sales de amonio cuaternarias (QAS) (28,31), y sales metálicas como plata, cobre, zinc y cobalto (7).

El desarrollo e introducción al mercado de nuevos productos y aplicaciones para impartir propiedades antibacterianas, antifúngicas y control de olores se evidencia en las nanopartículas metálicas de Plata (Ag) y oxidometálicas de dióxido de Titanio (TiO_2), óxido de Zinc (ZnO), y óxido de cobre II (CuO), las cuales inhiben el metabolismo bacteriano por medio de fotocatalisis, para crear un efecto de esterilización (7,25,27,28,31-34). Los extractos de plantas naturales presentan baja toxicidad, pero su estabilidad térmica es una desventaja.

Tabla 1. Visión general de las propiedades o funcionalidades mejoradas por nanomateriales.

Propiedades o funcionalidades	Tipo de nanomateriales							
	Plata	Óxido de Zinc	Dióxido de Silicio (como matriz)	Dióxido de Titanio	Óxido de Aluminio	Nano arcillas	Nanotubos de Carbono CNT	Negro de Carbón
Resistencia Antimicrobiana	x	x	x	x				
Protección Absorción UV		x		x		x		
Superficies Autolimpiantes	x	x	x	x			x	
Actividad fotocatalítica		x		x				
Superficies hidrofóbicas		x	x	x			x	
Absorción de humedad				x				
Resistencia al fuego			x	x	x	x	x	
Conductividad eléctrica	x						x	x
Antiestático	x	x					x	x
Resistencia a la tracción							x	x
Resistencia a la abrasión		x	x		x	x	x	x
Resistencia a las arrugas			x	x				
Portador de sustancias activas			x			x		
Resistencia química			x		x	x		x
Incremento de la durabilidad		x	x		x		x	

Adaptado de: (27-31).

2.1. Resistencia antimicrobiana

Con la creciente conciencia de la salud en la atención médica pública y personal, se debe considerar la necesidad de fibras antibacterianas en dispositivos médicos, aplicaciones higiénicas, sistemas de purificación de agua, equipos de cirugía dental, textiles hospitalarios, envasado y almacenamiento de alimentos (7).

2.2. Protección UV

La luz UV es una radiación electromagnética con una longitud de onda de 400 a 100 nm, más corta que la de la luz visible. Se puede dividir en UVA (320e400 nm), UVB (290e320 nm) y UVC (100e290 nm); los rayos UVA y UVB no pueden ser absorbidos por la capa de ozono. En los seres humanos, la exposición excesiva a todas las bandas de radiación ultravioleta puede provocar efectos nocivos crónicos en la piel, los ojos y el sistema inmunitario. La sobreexposición a la radiación UVB no solo puede causar quemaduras solares, sino también algunas formas de cáncer de piel, por lo que las fibras con la función de eliminar los rayos UV se vuelven importantes para la aplicación de protección personal (7). La propiedad de bloqueo de UV de los textiles se puede mejorar mediante la adición funcional de nanopartículas durante el procesamiento de la fibra o en el acabado. Las nanopartículas pueden ser metálicas de óxidos semiconductores, óxido de Zinc (ZnO), dióxido de Silicio (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃) y de dióxido de Titanio (TiO₂). Las nanopartículas de ZnO y TiO₂ de (10 a 50 nm de longitud) son más eficientes que las partículas en tamaño convencional en la absorción y dispersión de los rayos UV, debido a su gran área superficial por unidad de masa, al aplicarse estas nanopartículas embebidas en las nanofibras demuestran un buen factor de protección ultravioleta (UPF) (7,28,31,33,34).

2.3. Superficies autolimpiantes

Las propiedades autolimpiantes en las nanofibras se pueden lograr mediante dos procesos diferentes. Una de ellas es la integración de nanopartículas que actúan como fotocatalizadores, las cuales son capaces de degradar la suciedad y las manchas orgánicas. El segundo método es la producción de superficies hidrofóbicas que proporcionan repelencia de manchas y la suciedad, estas son autolimpiadas por las gotas de agua que al rodar atraen el polvo y otros residuos (31).

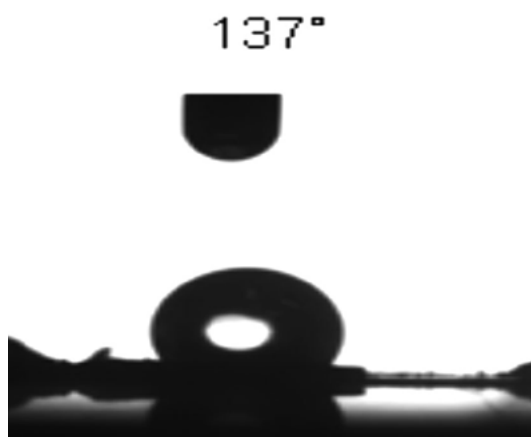
2.3.1. Actividad fotocatalítica

Las nanopartículas de dióxido de Titanio (TiO_2) y las nanopartículas de óxido de Zinc (ZnO), presentan propiedades fotocatalíticas que actúan con los iones metálicos sobre el oxígeno en el aire o en el agua para convertirlo en oxígeno activo, disolviendo de ese modo la sustancia orgánica para crear un efecto de esterilización (32-34).

2.3.2. Superficies hidrofóbicas (repelencia al agua)

Se ha demostrado que mediante la combinación de las nanopartículas de hidroxiapatita, Sílice, TiO_2 , ZnO y Fe_3O_4 con nanofibras se puede mejorar la propiedad de repelencia al agua (31), lo que permite una mayor humectación, además de exhibir propiedades de "efecto loto" o comportamiento hidrofóbico, capacidad de repeler los líquidos y las manchas (31). La propiedad de autolimpieza resulta cuando las gotas de agua toman las partículas de suciedad dejando una superficie limpia (Figura 6) (32,34). Sin embargo, el agua todavía puede pasar a través de las nanofibras si se aplica presión (31,33).

Figura 6. Mecanismo de autolimpieza de superficies hidrófobas imitan el efecto de las plantas de loto al paso de una gota de agua.



Adaptado de Y.Wong et.al. 2006 (32).

2.4. Absorción de humedad

Las nanofibras que contienen embebidas nanopartículas óxido metálicas de dióxido de Titanio (TiO_2), pueden mejorar las funciones de absorción de agua a través de un proceso fotocatalítico. Los "agujeros" que emergen cuando los electrones se levantan al oxidarse pueden ser llenados por el agua (28).

2.5. Retardantes de llama

La integración de varios tipos de nanocompuestos causa efectos retardantes de llama, entre ellos las nanopartículas de arcilla montmorillonita se han empleado debido a su bajo precio, también se han utilizado los boroxosiloxanes que contienen Sb_2O_3 para inhibir el proceso de combustión. El uso de nanotubos de carbono (CNT) ha retrasado la llama cuando se incorporan en polietileno-acetato de vinilo (EVA). El mecanismo exacto de la inhibición de combustión causada por las nanoarcillas todavía no se conoce, pero se presume que, si bien la matriz de polímero se quema y gasifica durante la combustión, las nanoarcillas incorporadas se acumulan en la superficie y forman una barrera a la difusión del oxígeno, de tal modo que retrasan el proceso (28,35).

Las fibras químicas comerciales son combustibles por naturaleza, y las propiedades de fibra ignífuga mejoradas deben considerarse. La mayoría de los aditivos de fibra ignífuga contienen bromo (Br), cloro (Cl), fósforo (P), antimonio (Sb) o aluminio (Al). Entre ellos, los aditivos de uso común son los hidrocarburos bromados aditivos e hidrocarburos bromados reactivos, ésteres de fosfato no halogenados, ésteres de fosfato halogenados, óxido de antimonio trióxido, pentóxido, óxido de antimonio y derivados de sodio, hidrocarburos clorados como parafina clorada y cicloalifáticos clorados. Otros incluyen compuestos clorados o bromados, compuestos fluorados, carbonato de magnesio, hidróxido de magnesio, melamina, compuestos de molibdeno, polímero de silicona y borato de zinc.

A veces, los polímeros se modifican químicamente, y los elementos nitrógeno (N), fósforo (P), cloro (Cl), flúor (F), silicio (Si) y bromo (Br) se pueden introducir en la cadena principal del polímero (7). Las fibras de poliéster y los acrílicos modificados químicamente, principalmente los modacrílicos, introducen átomos de cloro (Cl) en su estructura molecular, que son responsables de su bajo comportamiento de combustión, y tienen la capacidad de autoextinguirse una vez que se ha eliminado la fuente de ignición (7).

2.6. Conductividad eléctrica / antiestáticos

Un agente antiestático es un compuesto utilizado con el fin de reducir o eliminar la acumulación de electricidad estática causada generalmente por el efecto triboeléctrico. Las moléculas de un agente antiestático a menudo tienen ambas zonas hidrófilas e hidrófobas, similares a las de un tensioactivo; el lado hidrofóbico interactúa con la superficie del material, mientras que el lado hidrófilo interactúa con la humedad del aire y se une a las moléculas de agua (31).

Las funciones de blindaje antiestáticas o electromagnéticas en textiles se pueden lograr mediante el aumento de la conductividad de las fibras. Los polímeros textiles sintéticos, como por ejemplo polipropileno (PP) o polietileno (PE), en general, tienen una conductividad eléctrica relativamente baja y por lo tanto actúan como aislantes. La carga estática casi siempre se acumula en fibras sintéticas tales como nylon y poliéster, ya que absorben poca agua. Las fibras celulósicas tienen mayor contenido de humedad para quitar las cargas estáticas, por lo que ninguna carga estática se acumulará (32,34). Para crear un material conductor que siga mostrando propiedades favorables mecánicas se puede adicionar polímeros conductores (por ejemplo, polipirrol, polianilina) o también incluir en la matriz polimérica aditivos conductivos funcionales nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT), negro de humo (CB), grafema (7,28). Adicionalmente, es posible agregar nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2), cilindros de óxido de zinc (ZnO), antimonio dopado con óxido de estaño (ATO) y nano-sol silano los cuales pueden proporcionar propiedades antiestáticas a las nanofibras, ya que ayudan a disipar eficazmente la carga estática que se acumula en las nanofibras (31,32,34). Las fibras eléctricamente conductoras o electroactivas se usan comúnmente en telas protectoras, filtros y textiles inteligentes, que podrían usarse en aplicaciones eléctricas, médicas, deportivas, energéticas y militares (7).

2.7. Resistencia a la rotura (tracción) y al desgaste (abrasión)

La nanotecnología se puede utilizar para cambiar y mejorar las propiedades mecánicas de las nanofibras de acuerdo con la aplicación correspondiente. Tales propiedades incluyen una mayor resistencia a la tracción, elasticidad o rigidez de la fibra. Estas características pueden conducir a la producción de textiles más fuertes o elásticos o aumentar la

resistencia al desgaste y a la abrasión en un tejido. La forma más investigada de mejorar las propiedades mecánicas de las nanofibras es la integración de nanotubos de carbono CNT para aumentar significativamente la resistencia a la tracción o la elasticidad (31).

2.8. Fibra de infrarrojo lejano

La fibra de infrarrojo lejano puede emitir una dosis baja de rayos infrarrojos lejanos y proporcionar propiedades de retención de calor y energía térmica; se puede utilizar en textiles de salud que hacen posible cumplir con los requisitos de la terapia de infrarrojo lejano, mejorar la microcirculación del cuerpo y promover el metabolismo. Los polvos cerámicos se usan siempre en las fibras infrarrojas lejanas, (TiO_2 , ZnO, ZrC, Al_2O_3 , ZrO_2 , SnO_2 , MgO). Solar-Aloha es un prototipo desarrollado en Japón, el cual puede absorber luz del sol en invierno de menos de 2 μm de longitud de onda y la convierte en calor para el usuario, debido a su contenido de carburo de zirconio (7).

2.9. Fibra perfumada

Las microcápsulas se usan para producir fibras funcionales mezclándolas con una matriz de polímero y luego hilando en fibras. A veces, las microcápsulas se utilizan en el proceso de acabado. Este tipo de fibras se llaman fibras perfumadas. Se dice que las almohadas y la ropa de cama fabricadas con estos materiales mejoran el sueño y alivian los trastornos del sueño debido a su aroma gradual y continuamente liberado. El efecto también puede lograrse imprimiendo o rellenando microcápsulas que contienen perfumes en telas, que posteriormente estallan y liberan el aroma. Según el procesamiento, las propiedades térmicas de las fragancias deben considerarse en caso de su invalidez o volatilización; algunas fragancias termoestables comerciales son: Geranilo de propionato, acetato de cinamilo, cinamato, butil isoeugenol, alcohol laurílico, Versalida, lauromacrogol, rosone, jasmín, acetato isoeugenyl, p-metoxiacetofenona, aldehído vanílico, alcohol de anís, óxido de dibencilo, triacetato de glicerol, cumarina, éter, ácido cinámico, benzoato de isoamilo, benzoato de bencilo (7).

2.10. Almacenamiento de calor y fibras textiles termorreguladas

El almacenamiento de calor y las fibras termorreguladas son fibras funcionales recientemente desarrolladas. Hay tres tipos de almacenamiento de calor: sensible, latente y de almacenamiento de calor de reacción química. El agua, el acero y la piedra son materiales de almacenamiento de calor sensible ampliamente utilizados, los materiales de almacenamiento de calor latente también se denominan materiales de cambio de fase, por sus siglas en inglés (PCM), que pueden absorber o liberar calor con un ligero cambio de temperatura. Los PCM pueden usarse en fibras funcionales como sales inorgánicas hidratadas, solución de alcoholemia polihidroxilada, polietilenglicol (PEG), politetrametilenglicol, poliéster alifático, hidrocarbano de cadena lineal, alcohol hidrocarbonado, ácido hidrocarbonado, entre otros.(7).

Capítulo 3.

Nanofibras textiles no tejidas

las nanofibras textiles no tejidas son fibras con un diámetro inferior a $1 \mu\text{m}$, con diferentes características topográficas como la alta porosidad, gran área de superficie por unidad de masa, por ejemplo nanofibras con 100 nm de diámetro tienen una superficie específica de $1000 \text{ m}^2 / \text{g}$ y alta permeabilidad, al igual que la capacidad de imitar la matriz extracelular de los tejidos tanto química como mecánicamente en aplicaciones de ingeniería en tejidos (34,36,37).

Las nanofibras están conformadas por uno o más polímeros y comúnmente pueden llevar embebidas nanopartículas convirtiéndose en un material nanocompuesto ampliamente estudiadas para diversas aplicaciones. Sus propiedades dependen tanto de los polímeros como de las nanopartículas que las conformen. Por ejemplo, las nanofibras poliméricas que contienen nanotubos de carbono presentan alta resistencia mecánica, adicionalmente, las nanofibras individuales como medios de filtración tienen una mayor porosidad (27).

3.1. Procesos de fabricación de nanofibras no tejidas

Las técnicas más comúnmente utilizadas para producir nanofibras no tejidas en general incluyen proceso electrospinning, soplado en fusión, wetlaid, sea-island, forcespinning,

blow spinning y magnetospinning. Estos procesos permiten producir nanofibras de diámetro inferior a 500 nm (7-9,14-17).

3.1.1. Técnica de electrospinning

La técnica de electrospinning, hilatura electrostática o electrohilado, es un método de fabricación de andamios compuestos por fibras continuas no tejidas con diámetros menores a 500nm (34,36,37).

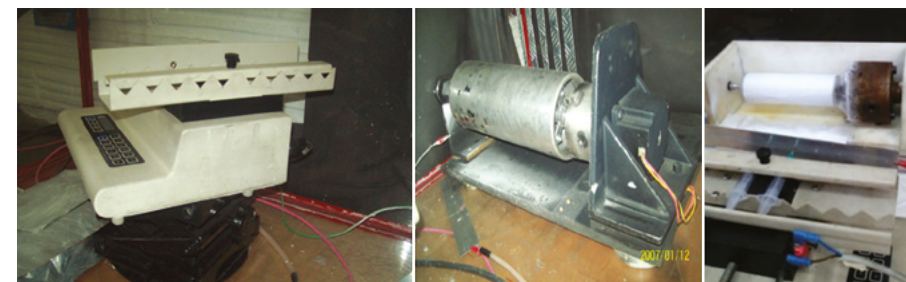
Esta técnica ha demostrado ser simple, versátil, rentable y reproducible (38-41). El proceso de electrospinning (Figura 7), implica el uso de un campo eléctrico para convertir o fundir una solución polimérica en una forma de fibra (40,42) a partir de tres componentes: una fuente de alto voltaje que garantiza un campo eléctrico continuo con una polaridad positiva y otra negativa, un colector metálico eléctricamente conductor (usualmente una placa fija de aluminio, o un cilindro rotatorio) en el cual se recogen las fibras resultantes y, una bomba de infusión para ajustar la velocidad de alimentación de la solución de polímero contenido en una jeringa con un capilar o aguja de diámetro interno de 0.1 a 1 mm (8,38,43,44).

Para lograr la deposición de nanofibras, se aplica un potencial eléctrico entre 10 y 50 kV a una gota colgante de solución de polímero ubicada en la punta de una aguja (voltaje positivo); las nanofibras son recolectadas en una placa metálica fija o rotatoria, conectada a tierra que sirve como un contraelectrodo, con control de la temperatura y la humedad (8,39,40,45). Dependiendo de la ubicación y el diseño en los que se disponga el equipo, las nanofibras producidas se depositarán en forma vertical u horizontal. Cuando el campo eléctrico aplicado supera la tensión superficial de la gota, esta se desfigura en una forma cónica (cono de Taylor) y se expulsa un chorro cargado de solución de polímero, en fase de elongación e inestabilidad, que es controlado por el campo eléctrico hacia el colector ubicado de 10 a 25 cm de distancia de la aguja. El chorro se hace más largo y estable, formando filamentos delgados, mientras tanto, el disolvente se evapora rápidamente. Finalmente, las nanofibras son recogidas en la placa metálica (8,9,38-40,46,47).

En la técnica de electrospinning se han empleado diferentes materiales poliméricos para el desarrollo de nanofibras reforzadas con nanopartículas con propiedades antibacteriales (48), e incluso se han incorporado diversos biocidas (triclosán, clorhexidina, compuestos de amonio cuaternario, biguanidas) para mejorar esta propiedad. En la actualidad se han

realizado estudios acerca de la aplicación de nanopartículas de plata (Ag) y nanopartículas óxido metálicas (TiO_2 , ZnO), como agentes antibacterianos en nanofibras textiles, la incorporación puede ser lograda mezclando uniformemente las nanopartículas en la solución de polímero antes del electrospinning y confinándolas en el núcleo de la fibra a través del proceso de electrohilado (8,48).

Figura 7. A. Proceso esquemático de la técnica de electrohilado.
B. Equipo electrospinning UPB.



Adaptado de: A. Oxoluita 2017(49).

Muchos parámetros pueden influir en el proceso de electrospinning (Tabla 2), incluyendo las propiedades de la solución (por ejemplo, la concentración, la viscosidad, la conductividad eléctrica, la tensión superficial y las propiedades dieléctricas), que regulan las variables (por ejemplo, el campo de fuerza eléctrica, la tasa de flujo, la distancia a la placa colectora) y los parámetros ambientales, como humedad y temperatura. Estos afectan directamente la formación y estructura de las fibras y pueden facilitar la presencia de defectos de gota (39,50).

Las características de las nanofibras no tejidas son: alta porosidad, diámetro pequeño, transporte de humedad, alta absorbencia y gran área superficial. Las nanofibras no tejidas se emplean para mejorar la eficiencia y la vida útil de las baterías recargables, para producir piel artificial y sistemas altamente protectores para la filtración de microorganismos. Las aplicaciones potenciales de las nanofibras incluyen productos de filtración, telas de barrera y dispositivos médicos (8,9,51,52).

Tabla 2. Parámetros electrospinning. Adaptado de: (39,50).

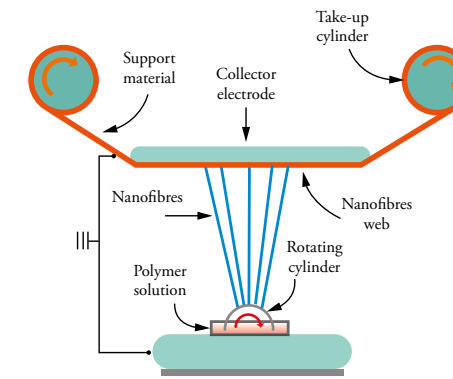
Parámetros	Ajustes de parámetros	Efecto en la morfología de fibra
Procesamiento	↑ Voltaje aplicado	↓ Diámetro de la fibra inicial, luego ↑ diámetro
	↑ Velocidad de flujo	↑ Diámetro de fibra, generación de gotas con velocidades altas
	↑ Distancia entre la aguja y el colector	↓ Diámetro de fibra, generación de gotas con distancias muy cortas o muy largas.
Solución	↑ Concentración del polímero	↑ Diámetro de la fibra
	↑ Peso molecular del polímero	↑ Diámetro de la fibra
	↑ Viscosidad	↑ Diámetro de fibra, desaparición de gotas
Ambientales	↑ Humedad Relativa	Poros circulares en las fibras
	↑ Temperatura	↓ Diámetro de las fibras

El electrospinning, actualmente, es la forma más rentable de crear fibras capaces de soportar cargas de alta tensión. Entre las desventajas de este proceso se encuentra el rendimiento limitado, susceptibilidad al bloqueo de la aguja, y el hecho de que las nanofibras tienen propiedades mecánicas bastante escasas en términos de resistencia a la tracción y resistencia al desgarro, a menos que se produzcan telas no tejidas muy gruesas (8,9). La mejor manera de aprovechar la gran superficie de nanofibras y aumentar la durabilidad y la resistencia de los productos es formar estructuras compuestas a través de telas hiladas o fundidas por soplado. Las telas hiladas típicas tienen un diámetro de fibra de 15-20 μm ; incorporando menos del 10% de nanofibras. Se ha observado un aumento considerable en las propiedades de barrera de la tela (7-9).

3.1.1.1 Needleless electrospinning-Electrospinning sin aguja

Los sistemas de electrospinning sin aguja se están volviendo populares, ya que la productividad en escala industrial puede mejorarse sustancialmente creando numerosos chorros poliméricos a partir de superficies líquidas libres. El sistema sin agujas más frecuente es el sistema Nanospider™ (Figura 8), fabricado por la empresa Elmarco Company, capaz de producir diámetros medios de fibra tan bajos como 50 μm , depositando tan poco como 0.03 g/m^2 a anchuras de 1.6 m y velocidades de hasta 60 m/min. El último avance en el diseño de este sistema es reemplazar el cilindro giratorio con un cable estacionario delgado. La solución de polímero se deposita en el cable a través de un aplicador recíprocante, de esta manera, la solución de polímero solo se presenta al electrodo inmediatamente antes de la hilatura, lo que reduce el impacto

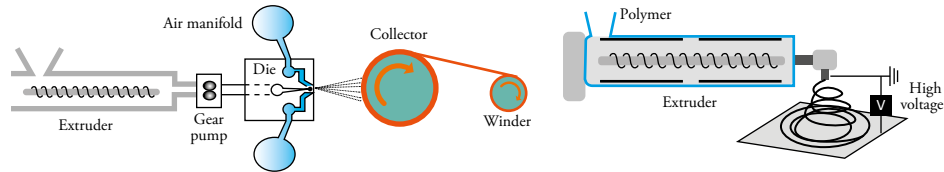
de la evaporación del solvente, y puede conducir a aumentos en la concentración del polímero (7). Al aplicar un alto voltaje al cable rotatorio se estimula la formación de diversos conos de Taylor y un gran número de chorros delgados desde la superficie del cable hacia arriba (47).

Figura 8. Proceso Nanospider.

Adaptado de: A.ELMARCO 2017 (53).
B. Sutka et al.2013 (54).

3.1.2. Meltblowing o soplado en fusión-Melt electrospinning

La mayoría de las nanofibras electrospun se basan en el hilado de la solución. Los productos químicos peligrosos se usan para disolver polímeros. Estos solventes pueden dejar residuos que no son compatibles con problemas de salud. Se ha generado un deseo de producir fibras concentrándose en un proceso más limpio, siendo ambientalmente seguro y productivo. El Meltblowing o soplado en fusión-Melt electrospinning (Figura 9) es un proceso rápido de producción de microfibras y nanofibras, en el que los polímeros termoplásticos granulares se funden con un calor constante y extruyen a través de un troquel o hilera, conectado a una boquilla al que se le aplica un alto voltaje requerido para el inicio del chorro, que al superar la tensión superficial del polímero forma un cono y se hilan las fibras finas extruidas que se dirigen al colector ubicado más cerca que en una configuración de electrospinning básica. Las fibras se depositan en un colector de forma aleatoria y forman una banda no tejida. El calor latente de las fibras es suficiente para permitir la unión térmica (7,47).

Figura 9. A. Proceso Meltblowing y B. Melt electrospinning.

Adaptado de: B. Morin et al. 2016 y Y. Emre et al. 2014 (7,47).

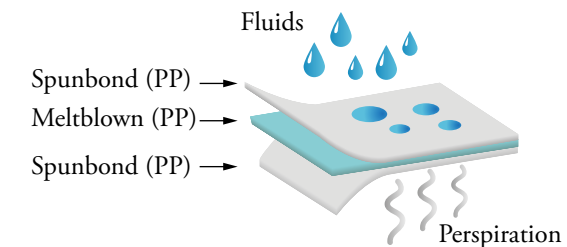
Los diámetros de fibra están en el rango de 2-7 μm , aunque son posibles diámetros de fibra de hasta 500 nm. Se han dedicado diversos intentos para reducir el diámetro de las fibras de soplado en fusión convencionales. El método más empleado es reducir la velocidad de alimentación del polímero fundido para producir fibras finas de soplado en fusión. Sin embargo, este enfoque solo puede reducir el tamaño de la fibra en una medida limitada a costa de la tasa de producción de fibra. El diámetro promedio de la fibra depende principalmente de la tasa de rendimiento, la viscosidad del fundido, la temperatura del fundido, la temperatura del aire y la velocidad del aire. Se ha descubierto que la reducción del tamaño de los agujeros de la hilera es efectiva para producir fibras submicrométricas; nanofibras con un diámetro medio de fibra de 250 nm se han fundido utilizando diseños de troqueles especializados. El bajo consumo de energía y las altas tasas de rendimiento podrían resultar en una reducción del 40% en los costos en comparación con las tecnologías alternativas (7).

Las telas meltblown (fundidas por soplado) y spunbond (por hilado) a menudo se combinan durante las diversas etapas de procesamiento para obtener una variedad de estructuras compuestas, para aplicaciones protectoras de higiene y medicina. Los beneficios de la combinación de meltblown y spunbond son (8,9):

- Barrera contra la penetración de líquidos, especialmente de fluidos corporales, en las batas médicas (8,9).
- Aumento de la capacidad de cobertura de la tela no tejida a base de spunbond (8,9).
- Barrera contra la penetración de partículas en los sistemas de filtración (8,9).

El término Spunbond - Meltblown - Spunbond (SMS) (Figura 10) fue introducido y patentado por primera vez por Kimberly-Clark Corporation. En la estructura

compuesta de la tela no tejida SMS, a base de polipropileno la parte de la tela spunbond, proporciona resistencia a la tracción y resistencia a la abrasión, mientras que la parte de la tela meltblown proporciona la barrera contra líquidos y partículas. (8,9). Mediante el uso de SMS, se produjeron combinaciones estructurales spunbond y meltblown entre ellas (SMMS) y (SSMMS), dependiendo de las propiedades deseables del producto final. En algunas aplicaciones de las películas elastoméricas, estas se combinan con las telas spunbond y meltblown durante la fase de formación de la tela no tejida (8,9).

Figura 10. Tela no tejida SMS azul.

Adaptado de Staysafe, 2017 (55).

• Coform

El proceso coform produce telas no tejidas sopladas en fusión (meltblown), que contienen pulpa de madera, con propiedades de absorción de líquidos. Durante el proceso, la pulpa de madera se inyecta, transformándose en fibras, se lamina térmicamente a un lado de la tela no tejida soplada por fusión, aun viscosa a medida que se desplazan desde la matriz hasta el colector. De esta manera, la pulpa de madera se adhiere a los filamentos a medida que se enfrían. Las telas están compuestas de aproximadamente 60-70% de pulpa de madera y son particularmente delgadas. Al cambiar el número y la composición de estas capas, se puede producir una variedad de productos, estos se utilizan en aplicaciones de contención de líquidos en el sector de la higiene. Las aplicaciones incluyen toallitas húmedas, pañales y almohadillas de lactancia y áreas de fenestración en las cortinas (8,9).

- **Flashspinning**

El flashspinning o rotación instantánea es una técnica alternativa para la conversión de Polietileno en fibras, utilizando una técnica de hilado en seco. El polietileno se mezcla con cloruro de metileno a 25 °C o más por encima del punto de ebullición del solvente y bajo alta presión. La solución obtenida se pulveriza después en un tanque bajo condiciones controladas al vacío, para producir la evaporación instantánea del disolvente y generar una red tridimensional de fibras interconectadas delgadas y continuas, muchas de las cuales tienen un grosor inferior a 4 µm. La red fibrosa se recoge en una cinta transportadora en movimiento y se consolida. Los elementos fibrosos se denominan fibrillas de película o plexifilamentos. Algunas veces, se usa CO₂ como gas inerte, disuelto para aumentar el grado de fibrilación. Los plexifilamentos individuales tienen una alta orientación molecular, lo que conduce a una alta resistencia. Las telas Tyvek (DuPont) se producen utilizando este método. El flashspinning es el método más complejo y difícil de fabricar telas no tejidas hiladas, debido a la necesidad de hacer girar una solución calentada y presurizada bajo condiciones precisas (8,9).

3.1.3. Nanofibras para el proceso wetlaid

Las nanofibras en el proceso no tejido wetlaid son producidas por Xanofi, utilizando el proceso XanoShear™. Este se basa en el hilado en húmedo tradicional, donde un polímero disuelto en un solvente se extrae a través de una solución que contiene un coagulante, se aprovecha una tensión interfacial muy baja entre la solución de polímero y el medio de coagulación, esto permite un gran alargamiento de las gotas en fibras y la creación de nanofibras con diámetros tan bajos como 10 nm. El hilado de la fibra tiene éxito mediante la inyección de un precursor de solución de polímero que pasa a través de una abertura muy pequeña a un medio móvil y altamente viscoso. El medio se mueve con un mandril giratorio, que sirve para realizar la extracción de la fibra del agujero. El mandril tira de la nanofibra, si la punta de extrusión está posicionada apropiadamente, la fibra extruida se mueve en una trayectoria espiral y se deposita continuamente alrededor del mandril. El polímero se solidifica en el medio viscoso (47).

Esta tecnología sin boquillas permite altas tasas de rendimiento en comparación con el procesamiento típico de nanofibras. Estas fibras se pueden combinar con fibras a microescala o macroescala durante la etapa de preparación del proceso húmedo. Una suspensión acuosa de las fibras se deposita sobre un transportador foraminoso antes

de la unión posterior. Las fibras nanofibriladas también se pueden usar para fabricar materiales no tejidos utilizando el proceso de wetlaid.

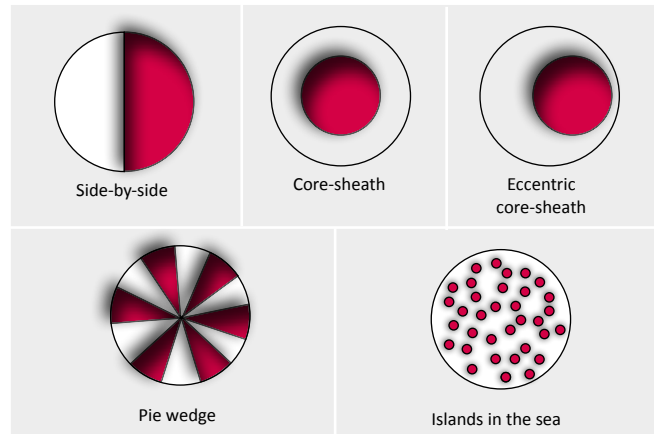
La fibrilación es el proceso de dividir las fibras en fibrillas o filamentos delgados, y se realiza comúnmente utilizando golpes mecánicos húmedos para separar parcialmente las fibras en sus fibrillas componentes (7).

3.1.4. Nanofibras bicomponente Sea-Island (Islas en el mar)

Otra técnica para la producción de nanofibras es el hilado de fibras bicomponente en el proceso "islas en el mar". Las fibras bicomponente están hechas de dos polímeros mutuamente insolubles distribuidos en toda la longitud de la fibra mediante la coextrusión y estiramiento, de esta manera, uno de los dos polímeros produce fibras largas dentro de la matriz del otro. Más tarde, la eliminación de la matriz por medio de solventes permite obtener las microfibras en filamentos de 1-3 deniers, de cada uno de los cuales, mediante la fusión del polímero circundante, de 240 a 1120 filamentos extremadamente finos pueden ser obtenidos. La fusión del polímero libera la matriz de las nanofibras y puede separarse adicionalmente por elongación o agitación mecánica.

Las fibras obtenidas por disolución del polímero de "mar" tienen un diámetro de aproximadamente 300 nm. Las fibras más utilizadas con esta técnica son poliamida, poliestireno, poliacrilonitrilo, policarbonato, PEO, PET y polímeros solubles en agua. La relación polimérica es 80% "islas" / 20% "mar". En comparación con el electrospinning, las nanofibras producidas con este sistema tienen un diámetro más estrecho, pero son de menor calidad. Las nanofibras muestran propiedades especiales que se deben a la alta relación superficie/peso con respecto al material no tejido tradicional. La baja densidad, el alto volumen y el diámetro reducido de los poros hacen que las nanofibras sean ideales para aplicaciones de filtración (7). Varias configuraciones se producen y venden comercialmente; algunos ejemplos comunes se muestran en la Figura 11.

Figura 11. Tipos de fibras bicomponentes.

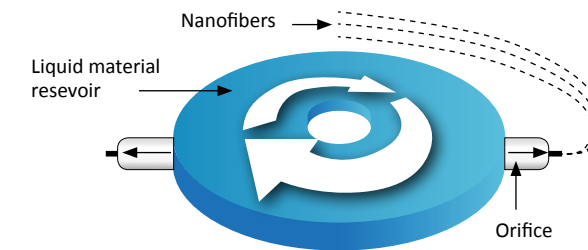


Adaptado de: B. Morin et al. 2016 (7).

3.1.5. Centrifugado-Forcespinning

Muchos productores de telas spunbond han estudiado la posibilidad de producir telas hiladas por centrifugación-Forcespinning (Figura 12). En este sistema, el polímero que origina las fibras se bombea a una matriz o disco con una cantidad dada de agujeros ubicados en su exterior. La matriz gira a una alta velocidad programada, de modo que la solución polimérica se expulsa de la matriz usando fuerza centrífuga a través de los orificios, la combinación de las fuerzas de fricción y centrífugas del aire estiran y rigidizan el chorro de líquido, evaporan el solvente y conducen a la formación de nanofibras. Las nanofibras se depositan posteriormente en el colector, formando una banda no tejida. Las nanofibras pueden usarse para producir una película continua y estopa fibrosa (8,9). Este método es independiente de las condiciones ambientales tales como la temperatura y la humedad, representando una gran ventaja con respecto al electrospinning que se ve afectado por la humedad relativa (47).

Figura 12. Producción de nanofibras por centrifugado.



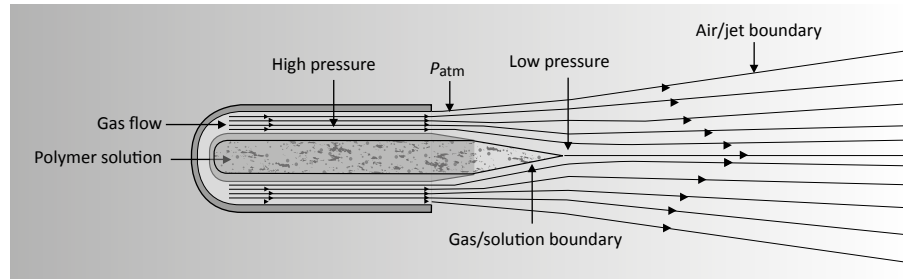
Adaptado de: B. Morin et al. 2016 (7).

Forcespinning ofrece otras ventajas sobre los demás procesos para producir nanofibras. La gama de soluciones de polímeros que se pueden hilar en nanofibras es mayor en comparación con el electrospinning, ya que se pueden procesar materiales conductivos y no conductivos. Asimismo, la producción es económica y se logra al reemplazar el hilado de la solución con el hilado en fusión. Las soluciones de polímeros tienden a ser relativamente diluidas (<20%), lo que afecta el rendimiento y los solventes son costosos de recuperar después del hilado (7).

3.1.6. Blow spinning o Electrospinning Gas Jacket

El blow spinning (Figura 13) es un proceso alternativo para fabricar nanofibras no tejidas, que combina elementos de electrospinning y meltblowing con el fin de suplir la necesidad de estirar la solución, en casos en los que un alto voltaje no sea suficiente. Se bombea una solución de polímero a través de la abertura de una boquilla interna concéntrica, mientras que un flujo de gas a alta presión pasa a través de la boquilla externa. La diferencia de presión y cizallamiento en la interfaz gas/solución da como resultado que se depositen múltiples hilos de la solución de polímero en un colector. El tipo de gas puede ser variado, incluido el aire. Durante el vuelo, el componente solvente de los filamentos se evapora rápidamente, formando una red de nanofibras. Los diámetros de las nanofibras alcanzados con este proceso son de 80 nm. Además, se obtiene una productividad significativamente mayor por boquilla en comparación con el electrospinning (7). Por ejemplo, el ácido hialurónico que tiene una alta viscosidad puede ser electrohilado en este sistema (47).

Figura 13. Proceso Blow spinning.

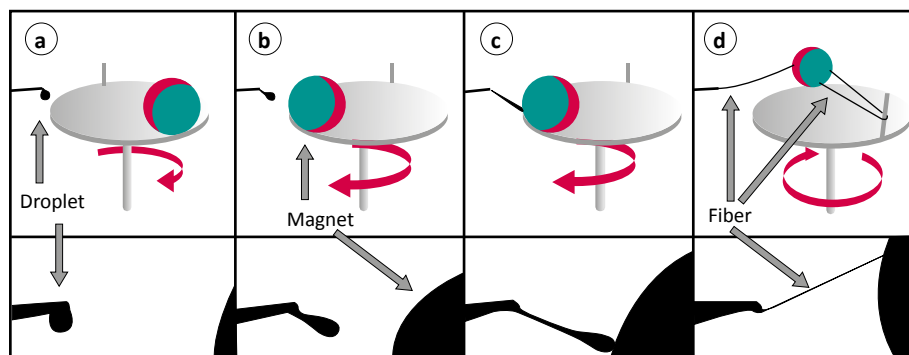


Adaptado de: B. Morin et al. 2016 (7).

3.1.7. Magnetospinning

El proceso magnetospinning (Figura 14) fue desarrollado en 2015, emplea un imán giratorio para fabricar nanofibras magnéticas. La solución de polímero o polímero fundido, que incorpora nanopartículas de óxido de hierro u otro material magnético, se extruye desde una aguja de jeringa colocada muy cerca de un imán ubicado sobre una placa giratoria, generando un campo magnético. Una gota del fluido de polímero se adhiere al imán, que luego atenúa el polímero debido al movimiento de rotación, creando un nanofilamento (7,47).

Figura 14. Proceso Magnetospinning.



Adaptado de: B. Morin et al. 2016 (7).

Tabla 3. Ventajas y desventajas de procesos de fabricación de nanofibras.

Método de fabricación	Ventajas	Desventajas
Electrospinning	Las nanofibras son uniformes, largas y continuas Sin disolventes	Degradación térmica de polímeros Problema de descarga eléctrica Bajos diámetros de fibras difíciles de obtener
Meltblowing	Fibras largas y continuas Alta productividad No se requiere recuperación de solvente	Tipos limitados de polímeros Degradación térmica de polímeros Los diámetros bajos de fibra requieren equipo especial Distribución de alto diámetro de fibra
Forcespinning	Libre de alto voltaje Amplia gama de polímeros Fundir e hilar la solución Alto rendimiento	Requisito de alta temperatura Los polímeros fundidos dan como resultado una mayor distribución del diámetro. Degradación térmica del polímero
Flash spinning	Alta tasa de producción Proceso económico	Longitudes cortas de fibra (310 μm) Recuperación de solvente Tecnología propia Gama limitada de polímeros Distribución de alto diámetro de fibra
Spun blown	Utiliza un gas químicamente inerte No se usan solventes nocivos Propiedades superiores de la fibra Formación de compuestos	Actualmente no es tecnología comercial Recuperación de solvente
Wetlaid	Diámetro regular fibra Compatible con procesos wetlaid	Control de distribución de fibra en materiales no tejidos formados
Bicomponente Islas en el mar	Compatible con procesos no tejidos existentes	Costoso Alta pérdida de material

Adaptado de: (7).

3.2. Métodos de ensayo estándar

Los métodos de ensayo estándar, que se definen como procedimientos ordenados en un entorno reproducible, están diseñados para proporcionar mediciones confiables con cierta precisión, mejorar la calidad, durabilidad y predecir el rendimiento, para un uso comercial de telas no tejidas y sus productos, antes de ser usada por una persona

o proteger un área específica de una estructura u objeto. Los métodos de prueba industriales generalmente se establecen para la medición interna rutinaria relacionada con la evaluación comparativa y el control de calidad de los productos. Además de estas pruebas estándar, existen numerosas técnicas para caracterizar los materiales no tejidos, ya sea para fines de investigación o para el seguimiento de los procesos de producción de textiles no tejidos. Para medir las propiedades de los no tejidos se han desarrollado varios métodos y técnicas de prueba que se pueden dividir de la siguiente manera (7-9,56):

- Métodos de prueba estándar definidos por las autoridades nacionales e internacionales competentes ISO (Organización Internacional de Normalización), CEN (Comité Europeo de Normalización), BSI (British Standards Institution), ASTM (Sociedad Americana de Métodos de Prueba) y ANSI (American National Standard Institute), normas UNE-EN (Una Norma Española) estándar europeo, NTC (Normas Técnicas Colombianas), etc. (7-9).
- Métodos de ensayo establecidos por las asociaciones industriales (Asociación de Industrias de Tejidos No Tejidos (INDA), Asociación Europea de Productos Desechables y No Tejidos (EDANA), Asociación Americana de Químicos y Coloristas del Textil (AATCC), Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CECELEC) y empresas individuales (7-9).
- Técnicas de ensayo no estándar diseñadas para fines de investigación (7-9).

3.2.1. Métodos de prueba ASTM

La Sociedad Americana de Métodos de Prueba (ASTM) ha definido una serie de estándares usados para probar telas no tejidas (Tabla 4). Este estándar utiliza un orden alfabético y el año de la adopción del estándar o en el caso de la revisión, el año de la última revisión (7,56).

Tabla 4. Métodos de prueba ASTM para no tejidos. Adaptado de: (7,56).

Número de método	Propiedad a ser probada
D 7334-08	Práctica estándar para la humectabilidad de la superficie de recubrimientos, sustratos y pigmentos mediante el avance de la medición del ángulo de contacto
D737-18	Método de prueba estándar para la permeabilidad al aire de telas textiles
D7490 -13	Método de prueba estándar para la medición de la tensión superficial de recubrimientos sólidos, sustratos y pigmentos, utilizando mediciones de ángulo de contacto

D570-98 (2010)	Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos
D5035-11 (2015)	Método de prueba estándar para la fuerza de ruptura y elongación de telas textiles (método de la tira)
D 4966-12 (2016)	Método de prueba estándar para la resistencia a la abrasión de telas textiles (método de prueba de abrasión Martindale)
D1776-16	Práctica estándar para acondicionar y probar textiles
D882-18	Método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico fino
E96 -05	Métodos de prueba estándar para transmisión de vapor de agua de materiales

3.2.2. Métodos de prueba ISO

La serie estándar ISO 9073 ha definido 18 métodos para probar textiles no tejidos (Tabla 5) (7).

Tabla 5. Métodos de prueba ISO 9073. Adaptado de: (7).

Número de método	Propiedad a ser probada
ISO 9073-1	Peso: Masa por unidad de área
ISO 9073-2	Espesor - Grosor
ISO 9073-3	Resistencia a la tracción y elongación mediante prueba de tira
ISO 9073-4	Resistencia al desgarro - rasgo trapezoidal
ISO 9073-5	Resistencia a la penetración mecánica (procedimiento de rotura con bola)
ISO 9073-6	Absorción
ISO 9073-7	Rigidez flexural
ISO 9073-8	Líquido a través del tiempo (orina simulada)
ISO 9073-9	Drapeabilidad (coeficiente de caída)
ISO 9073-10	Pilling - Pelusa
ISO 9073-11	Escorrentía
ISO 9073-12	Absorbencia de la demanda
ISO 9073-13	Tiempo de tintado de líquido repetido
ISO 9073-14	Mojado de tapicería
ISO 9073-15	Permeabilidad al aire
ISO 9073-16	Resistencia a la penetración por agua (presión hidrostática)
ISO 9073-17	Penetración de agua (impacto por aspersión)
ISO 9073-18	Resistencia a la tracción y elongación mediante la prueba de agarre

3.2.3. Métodos de prueba NTC

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) es el organismo que establece los métodos de prueba de normas técnicas colombianas NTC en diversos campos de estudio, entre ellos no tejidos, equivalentes a la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) (Tabla 6) (57).

Tabla 6. Métodos de prueba NTC

Número de método	Propiedad a ser probada
NTC 3911 - ISO 9092: 1988	Definición de no tejidos
NTC 2598 - ISO 9073-1	Peso: Masa por unidad de área
NTC 2599 - ISO 9073-2	Espesor - Grosor
NTC 2600 - ISO 9073-3	Resistencia a la tracción y elongación mediante prueba de tira
NTC 2601 - ISO 9073-4	Resistencia al desgarro - rasgo trapezoidal
NTC 2051-3 - ISO 12945-2:2000	Determinación de la tendencia a la Formación de motas y de pelusa. Parte 3: Método de Martindale modificado.

3.2.4. Métodos de ensayo NWSP

EDANA e INDA han trabajado juntos para producir un conjunto unificado de procedimientos estándar de no tejidos por sus siglas en inglés (NWSP) (Tabla 7), la versión más reciente es del año 2015, muchos de estos se han convertido en parte de las normas ISO (BS y EN) y ASTM. En la versión 2015 se incluyen: espesor, peso, resistencia a la tracción, resistencia al desgarramiento, absorción, resistencia a la abrasión, resistencia a la ruptura, propiedades electrostáticas, aglutinante/apariencia/limpieza en seco, propiedades ópticas, permeabilidad, repelencia, rigidez, curado, bacterias, formaldehído, materiales superabsorbentes y productos de higiene absorbentes. Mientras que se excluyen los estándares para la identificación de la fibra, la fricción, la eficacia de la limpieza, las entretelas, los geotextiles, y las telas no tejidas degradables, que aparecieron en estándares anteriores de NWSP (7,9,56).

Tabla 7. Métodos de prueba NWSP. Adaptado de: (7)(56).

Número de método	Propiedad a ser probada
001.0.R1 (15) - ISO 9092: 1988	Terminología estándar relacionada con la industria no tejida
003.0.R0 (15) - ISO 139:2005	Atmósferas estándar para acondicionamiento o prueba
005.0.R0 (15) - ISO 2859-1 - ISO 3951-1	Muestreo no tejido
010.1 R0 (15) - ISO 9073-6	Tiempo de absorción de líquido
020.5-R0 (15)	Resistencia a la abrasión Método Martindale
070.1. R0 (15)	Permeabilidad al aire
070.4. R0 (15)	Transmisión de vapor de agua
080.8-R0 (15)	Repelencia de alcohol
100.2 R1 (15) - ISO 9073-4	Rasgo trapezoidal
110.4 R0 (15) - ISO 9073-3	Resistencia a la ruptura y elongación de materiales no tejidos (método de la tira)
120.6 R0 (15) - ISO 9073-2	Espesor no tejido
130.1 R0 (15) - ISO 9073-1	Peso: Masa por unidad de área

3.2.5. Métodos de ensayo AATCC

En todos los métodos de prueba de AATCC los resultados de las pruebas se cuantifican numéricamente en lugar de que se informen como aprobados o fallidos. Los resultados de las pruebas de ensayo son la base para describir las características del material o del proceso. Cada método de prueba se designa mediante un número, seguido de una fecha que indica el año en que se emitió el método, se revisó por última vez. La designación debe citarse en su totalidad al referirse a un método particular. La versión más reciente de los métodos de prueba AATCC es de 2015 (Tabla 8) (56).

Tabla 8. Métodos de ensayo AATCC. Adaptado de: (56)

Número de método	Propiedad a ser probada
61 (2A) - 2013	Solidez del color al lavado acelerado
107 - 2013	Solidez al agua
193 - 2012	Repelencia al agua: resistencia al agua / alcohol

Capítulo 4.

Caracterización de nanofibras no tejidos

Las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los textiles no tejidos que rigen su idoneidad para un uso final, dependen de la composición de la fibra, aglutinantes químicos y aditivos funcionales, además de su estructura (8,9).

La aplicación de los métodos de ensayo estándar en el laboratorio requiere de procesos y protocolos definidos y validados. A partir de la validación realizada por los autores y basados en las normas seleccionadas, se diseñaron flujogramas de aplicación de pruebas para telas no tejidas que facilitan la comprensión del proceso y el logro de un resultado válido.

4.1. Propiedades de caracterización física

Las propiedades físicas permiten caracterizar estructuralmente el material no tejido en términos de dimensiones, peso, densidad y otras propiedades que no se relacionan con su respuesta a la carga o extensión (8,9,56).

4.1.1. Peso: masa por unidad de área

El peso del textil no tejido se define como la masa por unidad de área o superficie, se mide generalmente en gramos por metro cuadrado (g/m^2) en las industrias no tejidas (“Grams per-Square Meter” gsm).

La medición del peso es sumamente importante para el parámetro de calidad de las telas, sin importar la clase de tejido que sea. El peso está relacionado con el costo y el precio de venta, además de dar un indicio acerca del uso final; a mayor peso, mayor calidad.

Debido a la anisotropía y el desnivel de las telas no tejidas, la medición de esta propiedad requiere un procedimiento de muestreo específico, dimensiones específicas de las piezas de prueba y una mayor precisión de la balanza que para los textiles tejidos. De acuerdo con las normas NTC 2598 equivalente a ISO 9073-1:1989, EN ISO 29073-1: 1993 y el método de ensayo NWS 130.1. R0 (15), la medición de esta propiedad de telas no tejidas requiere que cada muestra de prueba sea al menos de 50 000 mm^2 de superficie (7-9,56), sin embargo, de acuerdo con el estudio desarrollado por F. Yalcinkaya, 2016, para no tejidos conformados por nanofibras fabricadas por la técnica de Needleless electrospinning - electrospinning sin aguja, cada pieza de ensayo debe medir al menos 10 000 mm^2 , 100 × 100 mm es decir 10 × 10 cm.

- **Finalidad y alcance**

El protocolo especifica un método para la determinación de masa por unidad de área de las telas no tejidas conformadas por nanofibras, con el fin de brindar una mayor exactitud en la medición de la masa por unidad de área (g/m^2). Los valores del sistema internacional (SI) se consideran como el estándar oficial de medición, si se usan otros sistemas se deben informar por separado.

- **Definiciones**

Muestra: producto o una porción de un producto tomado de un lote de producción mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreable hasta su origen.

Espécimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Balanza analítica capaz de determinar la masa por pieza de ensayo, con una precisión de $\pm 0,1$ %.
- Cámara ambiental o aire acondicionado para el pre-acondicionamiento de las piezas de ensayo de acuerdo con la norma NTC 378.

Reactivos: no aplica.

Materiales

- Aparatos para el corte de las piezas de ensayo. Pueden ser los siguientes.
 - Troquel o plantilla con un área mínima de 10 000 mm^2 .
 - 10 000 mm^2 (100 mm × 100 mm).
 - Bisturí o tijeras.
- Pinzas
- Regleta de acero graduada secuencialmente en milímetros.

Condiciones ambientales: las piezas de ensayo se pre-acondicionan como se especifica en la norma NTC 378 a temperatura de 23 ± 1 °C y humedad relativa de 50 ± 2 % durante 2 h. Se considera que se alcanzó el equilibrio cuando el aumento de la masa en pesas sucesivas realizadas a intervalos de al menos 2 h, no supera el 0,25% de la masa del espécimen.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado completamente en los aspectos protección debido a que la aplicación del protocolo requiere manipular aparatos afilados en el corte de las piezas de ensayo.

- **Preparación de muestras**

Tomar las piezas de ensayo que estén libres de pliegues, arrugas y cualquier distorsión que las haga anormales. De cada membrana no tejida de nanofibras debe cortar con un troquel o bisturí como mínimo tres piezas de ensayo, o cinco si obtendrá el coeficiente de variación, cada una de un área mínima de 10 000 mm^2 (10 × 10 cm). Si no hay material suficiente para cortar las piezas de ensayo del tamaño especificado, se corta el rectángulo más grande posible y se mide su área con la regla de acero, el tamaño debe ser registrado en el informe de ensayo.

El coeficiente de variación se informa cuando se utilizan mínimo cinco piezas de ensayo.

• Descripción de la rutina

Luego de recortar las tres o cinco piezas de ensayo con un área mínima de 10 000 mm², se determina la masa de cada pieza de ensayo utilizando la balanza, con una precisión de al menos el 0,1 % de su masa. En la atmósfera estándar de ensayo descrita en la norma NTC 378 para no tejidos (temperatura de 23 °C ± 1 °C y humedad relativa de 50 °C ± 2 %).

• Evaluación

Para determinar la media del peso en g se divide la sumatoria de los pesos de las piezas por el número de muestras, también se puede presentar calcular el peso W (g/m²) con el cociente entre el valor promedio de la masa en g y el área en m². El coeficiente de variación se obtiene de dividir la media sobre la desviación estándar típica multiplicado por 100 %.

• Informe

En el informe de ensayo debe incluir la siguiente información:

- Una referencia a los métodos de prueba NTC 2598, ISO 9073-1, BS EN ISO 29073-1: 1992, y al método de ensayo NWSP 130.1. R0 (15).
- Todos los detalles necesarios para la identificación del material de nanofibras no tejidas.
- Número y tamaño de las piezas de ensayo probadas.
- La atmósfera de acondicionamiento usada.
- Si las muestras fueron o no condicionadas antes de la prueba y, de ser así, durante cuánto tiempo.
- Los resultados del ensayo, el valor promedio en gramos por metro cuadrado (g/m²) y el coeficiente de variación en porcentaje.
- Cualquier característica inusual observada durante el ensayo o desviaciones del procedimiento estándar.
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Marca y modelo del equipo de prueba (balanza).

• Referencias

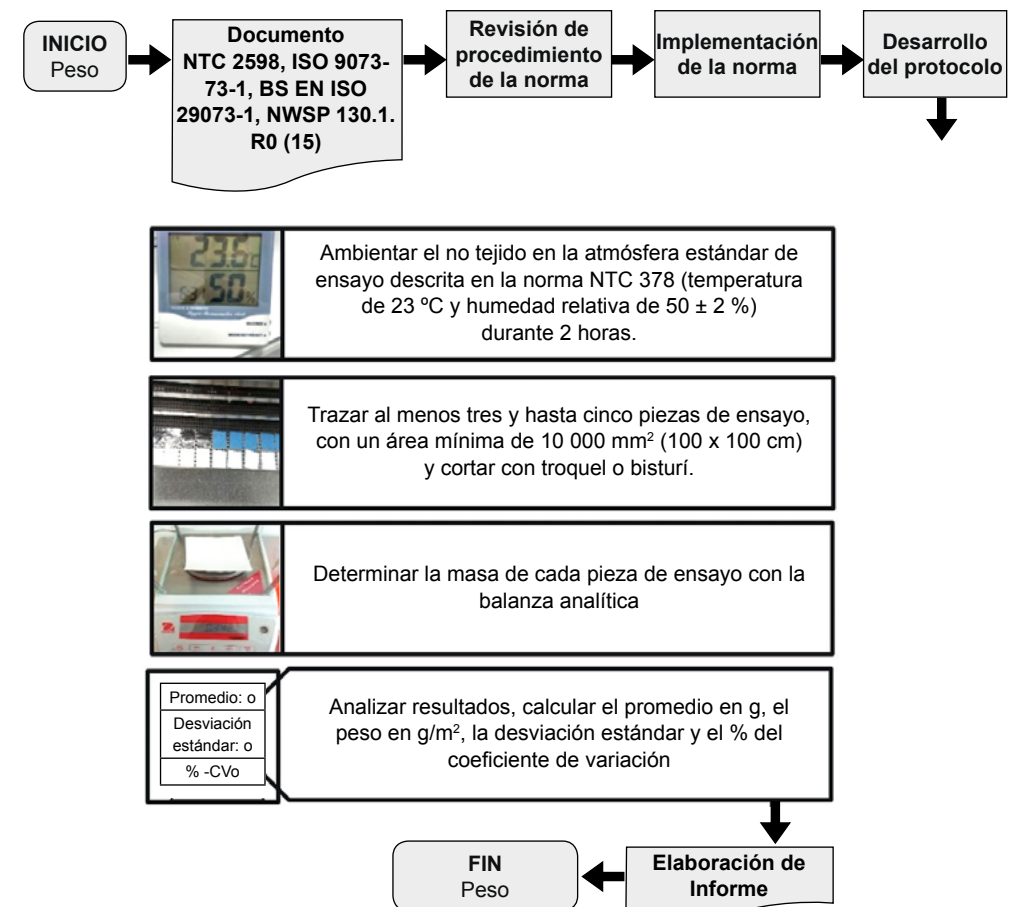
Norma Técnica Colombiana. NTC 2598. Textiles. Métodos de ensayo para telas no tejidas. Determinación de la masa por unidad de área.
Equivalente a:

International Organization for Standardization. ISO 9073-1. Textiles. Test methods for Nonwovens. Part 1: Determination of Mass per Unit Area. Genève: 1989. 2 p.
BS EN ISO 29073-1: 1992. Methods of test for nonwovens. Determination of mass per unit area.

Nonwovens Standard Procedures. NWSP 130.1. R0 (15). Mass per Unit Area.

• Diagrama de flujo

Figura 15. Diagrama de flujo peso: masa por unidad de área



4.1.2. Espesor

La medición del espesor o grosor es una de las propiedades físicas básicas de los textiles no tejidos. Desempeña un papel importante en las propiedades como el rendimiento (antes y después de la abrasión), permeabilidad al aire y la eficiencia de filtración. Se obtiene determinando la distancia entre la cara y la parte posterior del no tejido, sometidas bajo presión aplicada con micrómetro (7-9,11,14,56,58,59). Los métodos de prueba utilizados para medir el espesor de un no tejido son similares a los métodos de prueba de materiales textiles tejidos, pero debido a la naturaleza suave de las fibras y a su gran porosidad, presentan mayor compresibilidad e irregularidad, se implementan diferentes procedimientos de muestreo. La norma NTC 2599 equivalente a ISO 9073-2: 1995, BS EN ISO 29073-2: 1992 y el método de ensayo NWSP 120.6 R0 (15) describen procedimientos para la determinación del espesor en no tejidos (8). El espesor de las membranas conformadas por nanofibras es proporcional al tiempo de deposición o recolección en el electrospinning (58,60,61).

- **Finalidad y alcance**

Este protocolo especifica los métodos para la determinación del espesor con una mayor exactitud en textiles no tejidos, la distancia entre la cara y la superficie posterior del material se mide cuando se encuentra bajo presión específica. Los valores de SI se consideran como el sistema estándar oficial de medición para este procedimiento estándar. Si se usan otros sistemas de medición en lugar de unidades SI (incluyendo pulgadas), sus valores deben informarse de forma independiente. Los sistemas de medición no se deben combinar de ninguna manera, pero se deben considerar e informar por separado.

- **Definiciones**

Espesor: distancia entre la cara y el envés de una membrana no tejida conformada por nanofibras, medida como la distancia entre una placa de referencia o yunque, sobre el cual descansa la tela y un husillo paralelo que ejerce una presión específica sobre ella.

Muestra: producto o una porción de un producto tomado de un lote de producción mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreable hasta su origen.

Especimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Micrómetro Mitutoyo con una escala con graduaciones de 0,01 mm.
- Cronometro
- Cámara ambiental o aire acondicionado para el pre-acondicionamiento de las piezas de ensayo de acuerdo a la norma NTC 378.

Reactivos: no aplica.

Materiales

- Regleta de acero, graduada secuencialmente en milímetros
- Tijeras o bisturí.
- Pinzas.

Condiciones ambientales: las piezas de ensayo se pre-acondicionan como se especifica en la norma NTC 378 a temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 2\%$ durante 2 h.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado completamente en los aspectos protección debido a que la aplicación del protocolo requiere manipular aparatos afilados en el corte de las piezas de ensayo.

- **Preparación de muestras**

Por cada muestra de membrana no tejida, se trazan y cortan con bisturí o tijeras 10 piezas de ensayo, cada una con un área mayor de 400 mm^2 ($4 \times 1\text{ cm} \pm 0,5\text{ cm}$).

- **Descripción de la rutina**

Se ubica la carga en el pisatelas para dar una presión uniforme de 0,1 kPa y se ajusta el dispositivo de medición a cero. Se levanta el pisatelas y se coloca cuidadosamente la pieza de ensayo, sin tensión, en la placa de referencia. Se debe asegurar la pieza de ensayo en posición central con respecto al pisatelas. Se baja cuidadosamente el pisatelas hasta hacer contacto con la pieza de ensayo. Se deja que hagan contacto durante 10 s, se ajusta el dispositivo de medición para tomar el espesor de la muestra y se registra la lectura en milímetros. Se repite el procedimiento para las otras nueve piezas.

Se pone la carga en el pisatelas, para dar una presión uniforme de 0,5 kPa y se ajusta el dispositivo de medición a cero. Se repiten las mediciones sobre las 10 piezas. Se calcula la diferencia entre los resultados a presiones de 0,1 kPa y 0,5 kPa para cada pieza de ensayo preliminar. Se recomienda que se utilicen especímenes de referencia de espesor conocido, para comprobar periódicamente el aparato.

• Evaluación

Con los datos de los 10 resultados obtenidos se calcula el espesor promedio en milímetros de la tela no tejida, la desviación estándar y el coeficiente de variación expresado en porcentaje.

• Informe

En el informe de ensayo se debe incluir la siguiente información:

- Una referencia a los métodos de prueba NTC 2599, ISO 9073-2:1995, BS EN ISO 29073-2:1992 y el método de ensayo NWSP 120.6 R0 (15).
- Todos los detalles necesarios para la identificación del material no tejido y el método de muestreo.
- Número y tamaño de las piezas de ensayo probadas.
- La atmosfera de acondicionamiento utilizada.
- Si las muestras fueron o no condicionadas antes de la prueba y, de ser así, durante cuánto tiempo.
- El método de ensayo empleado.
- Los resultados del ensayo, el espesor promedio de la tela no tejida en milímetros (mm) y si se requiere el coeficiente de variación en porcentaje.
- Cualquier característica inusual observada durante el ensayo, o desviaciones del procedimiento estándar.
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Marca y modelo del equipo de prueba (micrómetro).

• Referencias

Norma Técnica Colombiana. NTC 2599. Textiles. Métodos de ensayo para telas no tejidas. Determinación del espesor.

Equivalente a:

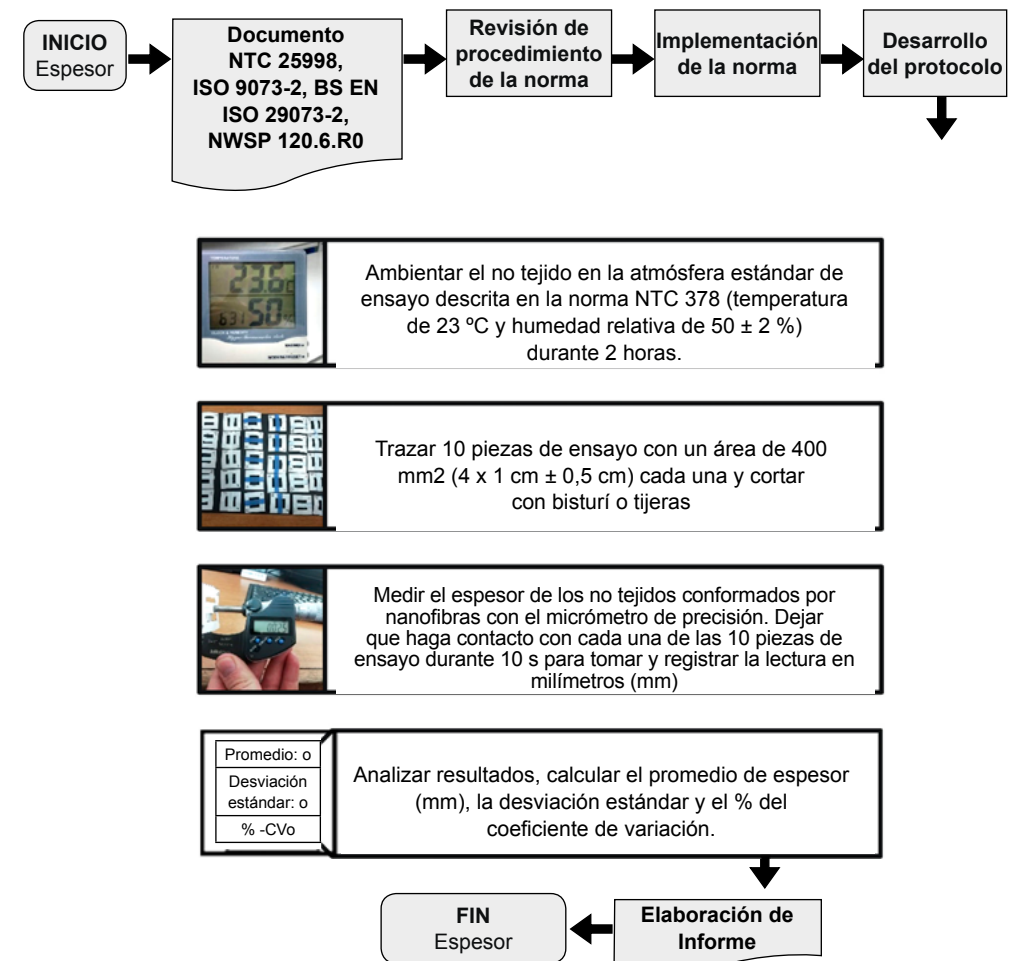
International Organization for Standardization. ISO 9073-2. Textiles. Test methods for Nonwovens. Part 2. Determination of Thickness. Genave, 1995, 5 p il.

BS EN ISO 29073-2: 1992. Methods of test for nonwovens. Determination of thickness.

Nonwovens Standard Procedures. NWSP 120.6.R0 (15). Nonwoven Thickness (EDANA).

• Diagrama de flujo

Figura 16. Diagrama de flujo determinación del espesor



4.2. Propiedades de resistencia térmica

4.2.1 Flamabilidad

La resistencia al fuego se define como "el complejo de transformaciones físicas y químicas al cual el material está sometido bajo la acción del fuego o ignición, resistiendo el encendido, quemándose lentamente o autoextinguiéndose después de que se retira el fuego" (3,8,35,56). En algunos métodos de las membranas no tejidas, se analizan superficies planas midiendo el tiempo de propagación de la llama, ubicándolas en un ángulo de 45 grados y encendiendo las piezas de ensayo durante un segundo sometidas a una llama estándar (3,56). La prueba de quemadura vertical UL-94 V, es una prueba de inflamabilidad emitida por Underwriters Laboratories Inc (62).

- **Finalidad y alcance**

Este protocolo especifica un método para la determinación de la clasificación de inflamabilidad UL 94 V, se aplica a los materiales poliméricos, y su tendencia a auto extinguirse o propagar la llama una vez que la muestra ha sido encendida, bajo condiciones de laboratorio controladas. El comportamiento del plástico cuando se expone al fuego se expresa cuantitativamente. La cantidad de material quemado se refiere a la longitud de la muestra que se quema en un período de tiempo específico.

- **Definiciones**

Muestra: producto o una porción de un producto tomado de un lote de producción mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreable hasta su origen.

Espécimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

Inflamabilidad: la capacidad de un material para ingresar y permanecer en un estado de combustión, con la emisión de llamas, durante y/o después de que el material haya sido sometido a la acción de una fuente de calor (8).

Velocidad de propagación de la llama: la velocidad a la que la llama se propaga en un material textil no tejido (8).

Tiempo después de la llama: el tiempo durante el cual un material sigue flameando, bajo condiciones especificadas, después de que la fuente de ignición ha sido removida.

- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Fuente de fuego: mechero Bunsen o vela o candela.
- Micrómetro: dispositivo de medición con una escala con graduaciones de 0,01 mm.
- Cronómetro con una precisión de 0,5 segundos.

Reactivos: no aplica.

Materiales

- Algodón: 100% absorbente o tela poliéster.
- Soporte universal con abrazaderas para sujetar la pieza de ensayo vertical.
- Regla graduada en mm.
- Piezas de ensayo de membrana no tejida conformada por nanofibras de nylon 6 prístino, no tejido SMS azul, y nanofibras de nylon 6 recubriendo SMS azul.
- Tijeras o bisturí.

Condiciones ambientales: las piezas de ensayo se pre-condicionan como se especifica en la norma NTC 378 y ASTM D 618 a temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 5 \%$ durante 48 h.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado completamente en los aspectos protección debido a que durante la aplicación del protocolo se pueden desprender gotas flameantes de las piezas de ensayo y se manipula una fuente de fuego y así, evitar posibles quemaduras.

- **Preparación de muestras**

De cada muestra de membrana no tejida, se trazan y cortan con bisturí o tijeras cinco piezas de ensayo de una longitud de $125 \pm 5 \text{ mm}$ y un ancho $13 \pm 0,05 \text{ mm}$.

- **Descripción de la rutina**

Las piezas de ensayo se sujetan con el soporte universal en la parte superior a partir de los 6 mm, de modo que el extremo inferior esté 6 cm por encima del algodón o poliéster de un espesor máximo de 6 mm. Las piezas de ensayo son mantenidas en posición vertical durante dos intervalos de 10 segundos, en los que se aplica la llama en la parte inferior. Si la muestra gotea material fundido o llameante durante

la aplicación de la llama, incline el quemador en un ángulo de hasta 45 grados. Después de la aplicación de la llama a la pieza de ensayo durante 10 segundos, retire el quemador y mida el tiempo en segundos después de la llama (registro t1). Tan pronto como cesa la combustión del espécimen, vuelva a colocar el quemador bajo la muestra y mantenga el quemador durante 10 segundos adicionales a una distancia de 10 mm de la porción restante de la muestra. Después retire el quemador y comience simultáneamente la medición del tiempo después de la llama, t2 y el tiempo de post-luminiscencia t3.

• Evaluación

Debe observarse y registrarse lo siguiente:

- Persistencia de la llama después de la primera aplicación de llama, t₁.
- Tiempo después de la llama después de la segunda aplicación de llama, t₂.
- Tiempo de postluminiscencia después de la segunda aplicación de llama, t₃.
- Si las muestras se queman o no hasta la abrazadera de sujeción.
- Si los especímenes gotean o no partículas que flamean el indicador de algodón.

• Informe

En el informe se debe incluir la siguiente información:

- Una referencia a la norma UL94V.
- Todos los detalles necesarios para la identificación de la pieza de ensayo no tejida.
- La atmósfera de acondicionamiento utilizada.
- Cualquier característica inusual observada durante la prueba.
- Los resultados de los ensayos, registrar los tiempos de persistencia de la llama después de la primera aplicación, el tiempo después de la llama t₂ y el tiempo pos-luminiscencia t₃.
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Equipo de prueba.

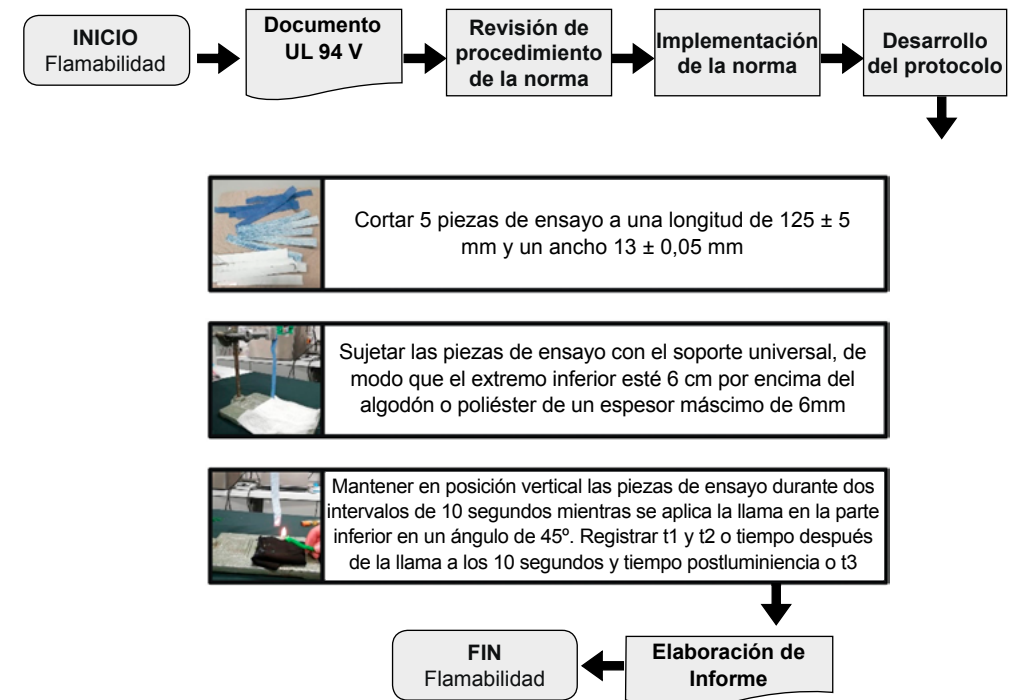
• Referencias

UL 94 V. Standard for safety of flammability of plastic materials for parts in devices and appliances testing.

Armonizada a ISO 9773. International Organization for Standardization. Textiles. Plastics -Determination of burning behaviour of thin flexible vertical specimens in contact with a small-flame ignition source.

• Diagrama de flujo

Figura 17. Diagrama de flujo flamabilidad



4.3. Propiedades de manipulación de fluidos

Dentro de las propiedades de tratamiento de fluidos se encuentran las pruebas de permeabilidad al aire, velocidad de transmisión al vapor de agua (WVTR), repelencia al agua y alcohol y absorción de agua (8,9).

4.3.1. Repelencia al agua y al alcohol

La repelencia al agua y al alcohol aún no ha sido reportada como una prueba de caracterización de nanofibras, sin embargo, la norma NTC 5366 “Textiles para uso hospitalario e Institucional” sugiere la aplicación de esta prueba.

Los textiles de uso hospitalario han sido evaluados con la aplicación de las normas de repelencia al alcohol de tejidos no tejidos (NWSP 080.8. R0 (15) y de resistencia al agua/alcohol AATCC 193: 2012 (3,7,56).

La siguiente información es tomada de las normas:

- **Finalidad y alcance**
Este protocolo de ensayo cubre la determinación del grado de repelencia al mojado de las nanofibras no tejidas a soluciones de agua y alcohol. Bajo una escala de 0 a 8, se asigna ocho cuando la superficie es más repelente, es decir, no moja la superficie de la membrana no tejida.
- **Definiciones**
Muestra: producto o una porción de un producto tomado de un lote de producción mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreable hasta su origen.
Espécimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.
Repelencia acuosa en textiles: la característica de una fibra, hilo o tela de resistir al mojado por líquidos acuosos.
- **Equipos y condiciones ambientales**
Equipos: goniómetro.

Reactivos

- Agua y alcohol (etanol al 99 %).

Materiales

- Piezas de ensayo de membrana no tejida conformada por nanofibras de nylon 6 prístino, no tejido SMS azul, y nanofibras de nylon 6 recubriendo SMS azul.
- Tijeras o bisturí.

Condiciones ambientales: Las piezas de ensayo se pre-acondicionan como se especifica en la norma NTC 378 y ASTM D 618 a temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 5\%$ durante un mínimo de 4 h.

- **Precauciones**
Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado completamente en los aspectos de protección debido a que en este procedimiento se utiliza alcohol, una sustancia inflamable que debe mantenerse alejada del calor, chispas o llamas; es necesaria una ventilación adecuada y evitar la respiración prolongada del vapor.
- **Preparación de muestras**
Pruebe una pieza de ensayo de tamaño ($3 \times 2\text{ cm}$) de cada muestra.
- **Descripción de la rutina**
Coloque la pieza de ensayo sobre el portamuestras del goniómetro, usando guantes de laboratorio, aplane la pieza de ensayo ligeramente antes de colocar las gotas del líquido de prueba. Comience con la aplicación de una gota de agua de aproximadamente $5\text{ }\mu\text{l}$ de volumen, en tres lugares a lo largo de la pieza de ensayo. Observe las gotas durante 10 s, desde aproximadamente un ángulo de 45° . Continuar con la aplicación de una gota de etanol de aproximadamente $5\text{ }\mu\text{l}$ de volumen, en tres lugares a lo largo de la pieza de ensayo, observe las gotas durante 10 s, desde aproximadamente un ángulo de 45° . Reportar si los líquidos de prueba muestran una humectación o absorción visible de las piezas de ensayo en el tiempo de 10 s.
- **Evaluación**
Se obtiene el grado de repelencia de la solución acuosa AATCC, que en un no tejido un valor entre 0 y 8. El número más alto indica que el líquido de ensayo

no mojará el tejido en un período de 10 ± 2 s y el más bajo lo contrario. El humedecimiento del no tejido se evidencia normalmente por un oscurecimiento en la interfase de tejido líquido o por absorción y/o pérdida del ángulo de contacto de la gota. La resistencia completa a la humectación por un líquido de prueba se observa como una gota clara (Figura 21 A: pasa). El humedecimiento progresivo bajo los líquidos de prueba se evidencia por un oscurecimiento parcial en el no tejido (Figura 21 B: paso límite, C: falla aparente; D: falla completa).

Se produce un fallo cuando dos de las tres gotas aplicadas a partir de un líquido de ensayo dado, muestran una humectación completa (Figura 20 [D]) o una mecha con pérdida de ángulo de contacto (Figura 20 D). Se produce un paso si dos (o más) de las tres gotas aplicadas muestran un aspecto claro y bien redondeado con alto ángulo de contacto (Figura 20 A). Se produce un paso límite si dos de las tres gotas aplicadas muestran la gota redondeada con oscurecimiento parcial de la muestra de ensayo (Figura 20 B).

• Informe

El informe de ensayo debe incluir la siguiente información:

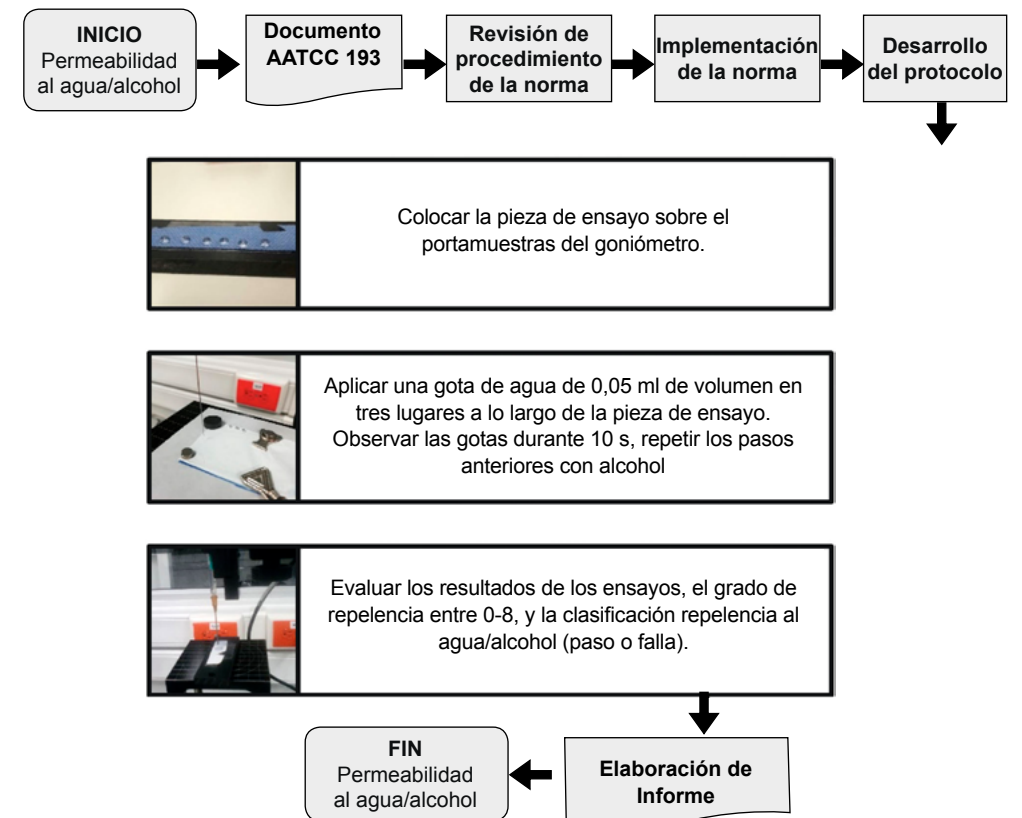
- Una referencia al método de ensayo AATCC 193.
- Todos los detalles necesarios para la identificación de la pieza de ensayo no tejida y tamaño de muestra.
- La atmósfera de acondicionamiento usada.
- Cualquier característica inusual observada durante la prueba.
- Los resultados de los ensayos, el grado de repelencia 0-8, Clasificación repelencia al agua/alcohol (paso o falla)
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Equipo de prueba.

• Referencia

Norma AATCC 193. American Association of Textile Chemists and Colorists (AATCC). Aqueous Liquid Repellency: Water/Alcohol Solution Resistance Test.

• Diagrama de flujo

Figura 19. Diagrama de flujo permeabilidad al agua/alcohol.



4.3.2. Ángulo de contacto al agua

La medición del ángulo de contacto al agua es el método más común utilizado para cuantificar la humectabilidad (naturaleza hidrofóbica o hidrofílica) de una superficie sólida por un líquido, esta propiedad tiene un impacto directo en su aplicabilidad final. En el ángulo de contacto se inyecta una gota colgante de agua destilada desde una jeringa de un goniómetro sobre la superficie de la membrana de nanofibras. La imagen de la gota en la membrana se visualiza a través del analizador de imágenes y se mide el ángulo entre la gota de agua y la superficie. Los valores inferiores a 90 grados de ángulo de contacto indican que la gota de agua se extiende bien mojando la superficie hidrofílica, mientras que los valores mayores muestran una gota redonda descansando ligeramente sobre la superficie hidrofóbica que no se humedece con el agua, lo que representa una dispersión deficiente (7,9,64,65). Aunque el ángulo de contacto de los no tejidos se mide por un goniómetro u otros métodos indirectos, no existe un procedimiento estándar, se recomienda adoptar métodos de prueba de textiles tejidos tales como ASTM D 7334-08 y ASTM D7490-13. Una superficie que es fácil de humedecer es más probable que proporcione buena adherencia y apariencia (66).

- **Finalidad y alcance**

Este protocolo especifica los métodos para la determinación del ángulo de contacto al agua en membranas no tejidas conformadas por nanofibras, cuando se aplica una gota sobre su superficie; es una prueba basada en la goniometría y no pretende medir la tensión superficial directamente. Los valores en unidades SI deben considerarse como estándar.

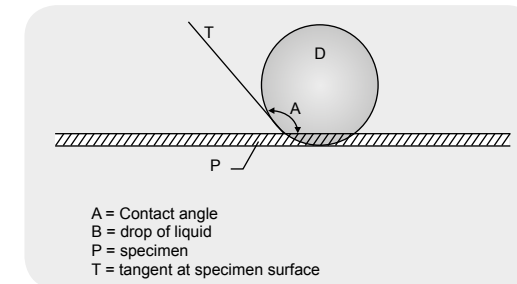
- **Definiciones**

Muestra: un producto obtenido mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreable.

Especimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

Ángulo de contacto: el ángulo interior entre la superficie de la membrana no tejida y una gota formado por la tangente trazada en la intersección como se muestra en la Figura 24.

Figura 20. Medida del ángulo de contacto



- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Goniómetro.

Reactivos: agua destilada.

Materiales

- Piezas de ensayo de membrana no tejida conformada por nanofibras de nylon 6 prístino, no tejido SMS azul, y nanofibras de nylon 6 recubriendo SMS azul.
- Tijeras o bisturí
- Jeringa hipodérmica de 1 mL.

Condiciones ambientales: las piezas de ensayo se pre-acondicionan como se especifica en la norma NTC 378 y ASTM D 618, a temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y humedad relativa $\geq 50 \pm 2 \%$ durante 2 h.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado completamente en los aspectos de protección para minimizar un posible riesgo eléctrico por manipulación electrónica del goniómetro.

- **Preparación de muestras**

Pruebe una pieza de ensayo de tamaño (3 × 2 cm) de cada muestra, sin defectos o contaminación.

• Descripción de la rutina

Montar la pieza de ensayo en el goniómetro sosteniéndola mediante pesos pequeños y nivelar la platina de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Aplicar una gota de agua con un volumen de 5 μL , medir el ángulo de contacto de agua sobre la muestra textil no tejida, capturando una imagen de la gota, haciendo dos medidas en cada borde de la gota. Si los ángulos de contacto en los dos bordes son significativamente diferentes, los valores deben eliminarse y repetirse la prueba. El ángulo de contacto de la muestra será la media de los seis ángulos medidos. Los ángulos de contacto con el agua deben medirse rápidamente, 10 s después de depositar la gota, para evitar cambios de ángulo a medida que el agua se evapora.

• Evaluación

Evaluar los ángulos de contacto en ambos bordes de la gota, el promedio de una muestra será seis ángulos obtenidos en tres 3 gotas.

• Informe

En el informe se debe incluir la siguiente información:

- Una referenciación a la norma ASTM D7334 y ASTM D7490
- Todos los detalles necesarios para la identificación de la pieza de ensayo no tejida y tamaño de muestra.
- La atmosfera de acondicionamiento usada.
- Cualquier característica inusual observada durante la prueba.
- Los resultados de los ensayos, el ángulo de contacto al agua promedio e indicar si la muestra ha sido limpiada de alguna manera.
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Equipo de prueba.

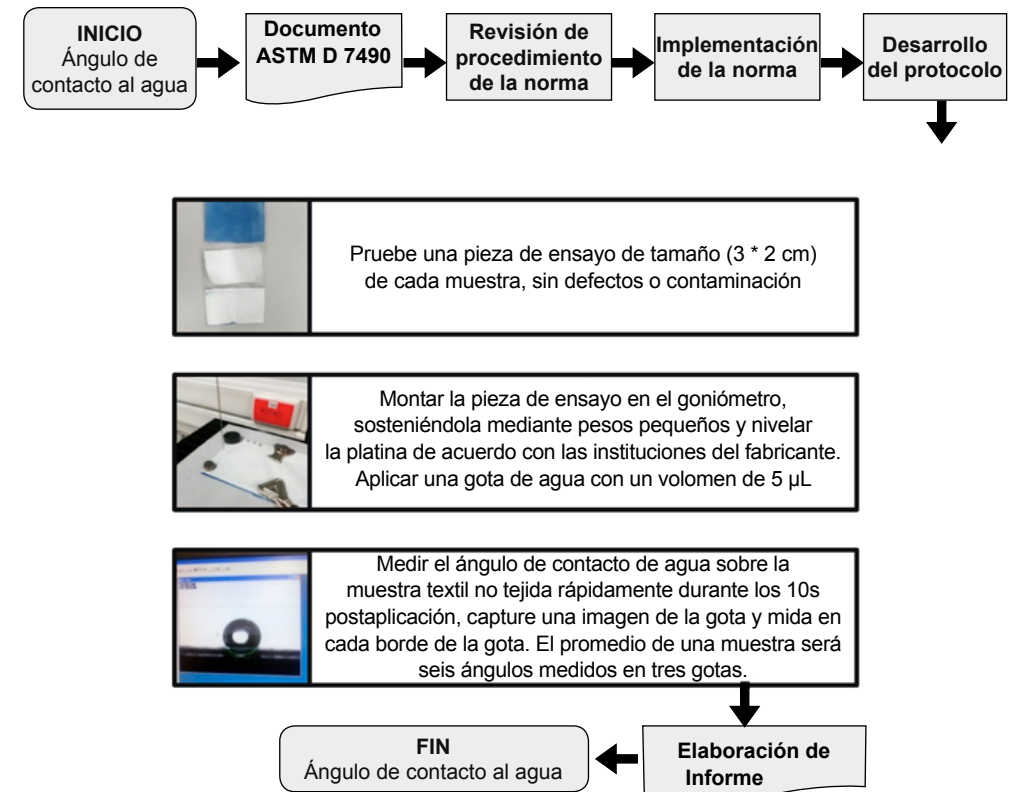
• Referencias

Norma ASTM D7334. ASTM INTERNATIONAL. Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement

Norma ASTM D7490. ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Measurement of the Surface Tension of Solid Coatings, Substrates and Pigments using Contact Angle Measurements

• Diagrama de flujo

Figura 21. Diagrama de flujo ángulo de contacto al agua



4.4. Pruebas de caracterización mecánicas

Las propiedades mecánicas del material textil no tejido caracterizan la respuesta del material a las fuerzas y deformaciones aplicadas. Estas han sido siempre vistas como las propiedades más importantes técnicamente, ya que contribuyen tanto al comportamiento del material durante el procesamiento, como al rendimiento del producto durante el uso final. Algunas propiedades mecánicas son: propiedades elásticas (módulo de Young, tenacidad, resistencia a la tracción y elasticidad, recuperación elástica, resistencia a la ruptura, compresión), recuperación de compresión, rigidez flexural y cizallamiento, resistencia al desgarro, resistencia al arrugado, abrasión, propiedades de fricción (suavidad, rugosidad, coeficiente de fricción), absorción de energía (8,9,56).

4.4.1. Resistencia a la tracción

En la literatura, la mayoría de las pruebas mecánicas de membranas no tejidas conformadas por nanofibras se realizan utilizándolas a granel con métodos convencionales de prueba de tracción tales como ASTM D 882 (67), NTC 2600, ISO 9073-3, NWSP 110.4.R0(15), ASTM D5035, JIS L1096D. Los especímenes se cortan en forma rectangular y se prueban en la máquina universal de ensayos tanto en sentido longitudinal, como en sentido transversal, hasta que se fallen. Huang et al., 2004 (11), describió un procedimiento para el cuidado de las membranas conformadas por nanofibras durante su preparación para la prueba de tracción, ya que la integridad mecánica y la disposición geométrica pueden verse comprometidas en el proceso (11,68).

- **Finalidad y alcance**

Este protocolo especifica un método para la determinación de las propiedades de tensión de telas no tejidas, por el método de Huang. Este procedimiento consiste en la aplicación de fuerza longitudinal a una pieza de ensayo de forma rectangular (longitud de 4 cm y ancho de 1 cm) pegada en una plantilla cuadrada de papel, a una tasa constante de extensión 10 mm/min y una carga de 50 N la determinación de valores de resistencia a la rotura y alargamiento, a partir de la curva registrada fuerza-alargamiento.

- **Definiciones**

Muestra: un producto obtenido mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreadable.

Especimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Máquina universal de ensayos, equipada con mordazas capaces de retener las piezas de ensayo con seguridad en todo su ancho, sin que sufran daño.

Reactivos: no aplica.

Materiales

- Regleta de acero, graduada secuencialmente en milímetros
- Tijeras o bisturí.
- Pinzas.

Condiciones ambientales: las piezas de ensayo se pre-acondicionan como se especifica en la norma NTC 378 a temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 2 \%$ durante 2 h.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado completamente en los aspectos protección debido a que la aplicación del protocolo requiere manipular aparatos afilados en el corte de las piezas de ensayo y se debe evitar intervenir la máquina universal cuando esté en funcionamiento.

- **Preparación de muestras**

Por cada muestra de membrana no tejida, se trazan 10 piezas de ensayo, cinco en sentido longitudinal y cinco en sentido transversal, y se cortan con bisturí o tijeras, se sugiere de un área mínima de 400 mm^2 ($4 \times 1 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm}$).

- **Descripción de la rutina**

Las 10 piezas de ensayo se toman con pinzas, se ponen cuidadosamente una por una en las mordazas de la máquina universal de ensayo y se endereza hasta que la curva de fuerza esté sobre la línea cero. Se aplica una tasa de extensión constante de 10 mm/min y una carga de 50 N, se registra la curva fuerza-deformación para cada pieza de ensayo. Para determinar la resistencia máxima a la rotura en Newton

se utiliza la curva fuerza - elongación. Se descartan los resultados de cualquier pieza de ensayo en la que la rotura ocurra en la abrazadera o en donde la rotura alcance a tocar las mordazas en un mínimo de un punto.

Evaluación

Se determina el promedio de los resultados, expresando la resistencia a la tracción en MPa. Se calculan los coeficientes de variación de los resultados.

Informe

En el informe de ensayo se debe incluir la siguiente información:

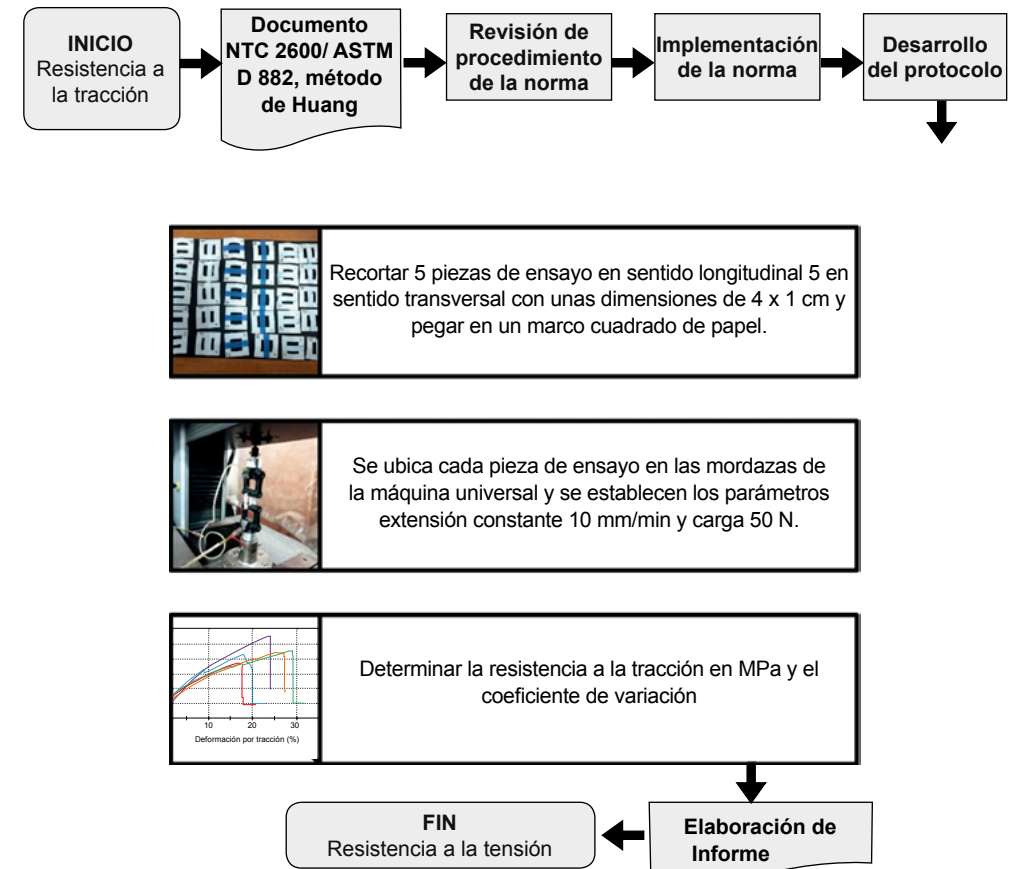
- Una referencia a la norma NTC 2600, ASTM D882 y al método de Huang.
- Todos los detalles necesarios para la identificación del material.
- Los resultados de las piezas de ensayo tanto en el sentido longitudinal como transversal.
- La atmosfera de acondicionamiento utilizada.

Referencias

Norma Técnica Colombiana. NTC 2600. Textiles. Métodos de ensayo para telas no tejidas. Determinación de la resistencia a la tensión.
 Equivalente a: ISO 9073-3. Textiles. Test methods for Nonwovens. Part 3: Determination of tensile Strength and elongation. Geneve, 1989, 2 p. (ISO 9073-3).

Diagrama de flujo

Figura 22. Diagrama de flujo resistencia a la tracción



4.4.2. Resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión de las membranas no tejidas conformadas por nanofibras se refiere a las propiedades resistencia a diversas acciones abrasivas ejercidas sobre las piezas de ensayo; que genera desgaste de cualquier parte del material no tejido frotando contra otra superficie. Los daños abrasivos a los no tejidos se evalúan de forma objetiva (por ejemplo, pérdidas de masa) o subjetivamente (por ejemplo, hilados rotos y formaciones de agujeros). Los métodos estándar incluyen la prueba Martindale (ISO 12947-1-4: 1998 y ASTM D4966-12) y Martindale modificado método de ensayo de abrasión (NWSP 020.5.R0 (15)) (3,7,9). El ciclo de abrasión, para el probador de abrasión de Martindale, se refiere a 16 frotaciones necesarias para completar una forma geométrica, conocida como Lissajous (1). Una alta resistencia a la abrasión es necesaria para mejorar aplicaciones de rendimiento de la barrera y mejorar la durabilidad de las membranas de nanofibras (25), para este fin las nanofibras más largas contribuyen a aumentar la resistencia a la abrasión (8,9).

- **Finalidad y alcance**

Este protocolo, especifica la determinación de la resistencia a la abrasión de las membranas no tejidas conformadas por nanofibras, con el ensayador de abrasión Martindale. Los valores expresados en unidades de SI deben considerarse como estándar. Este procedimiento consiste en el análisis del desgaste de una pieza de ensayo al movimiento de fricción en forma de una figura geométrica, Lissajous, bajo condiciones conocidas de presión y acción abrasiva del abradant (tejido de lana).

- **Definiciones**

Muestra: un producto obtenido mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreable.

Espécimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Probador de abrasión de Martindale.

Reactivos: no aplica.

Materiales

- Tela de abradant estándar: un tejido plano cruzado con lana.
- Rodaja: de 38 mm de diámetro.

Condiciones ambientales: las piezas de ensayo se pre-acondicionan como se especifica en la norma NTC 378 a temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 2\%$ durante 2 h.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe tener precaución con el filo de la rodaja al cortar las piezas de ensayo, en la manipulación de las piezas de ensayo en el probador de abrasión Martindale y no intervenir cuando el equipo esté en funcionamiento.

- **Preparación de muestras**

Por cada muestra de membrana no tejida, se trazan y se cortan con la rodaja una pieza de ensayo de 3,8 mm de diámetro.

- **Descripción de la rutina**

Realice el montaje de las piezas de ensayo en los portamuestras, colocar en el equipo y añadir el peso de 9 kPa, programar 10 ciclos e ir evaluando el comportamiento de desgaste. Continuar con los ciclos hasta que se produzca un fallo.

- **Evaluación**

Se termina el ensayo cuando aparece un fallo o agujero en la membrana no tejida conformada por nanofibras.

- **Informe**

El informe del ensayo debe incluir la siguiente información:

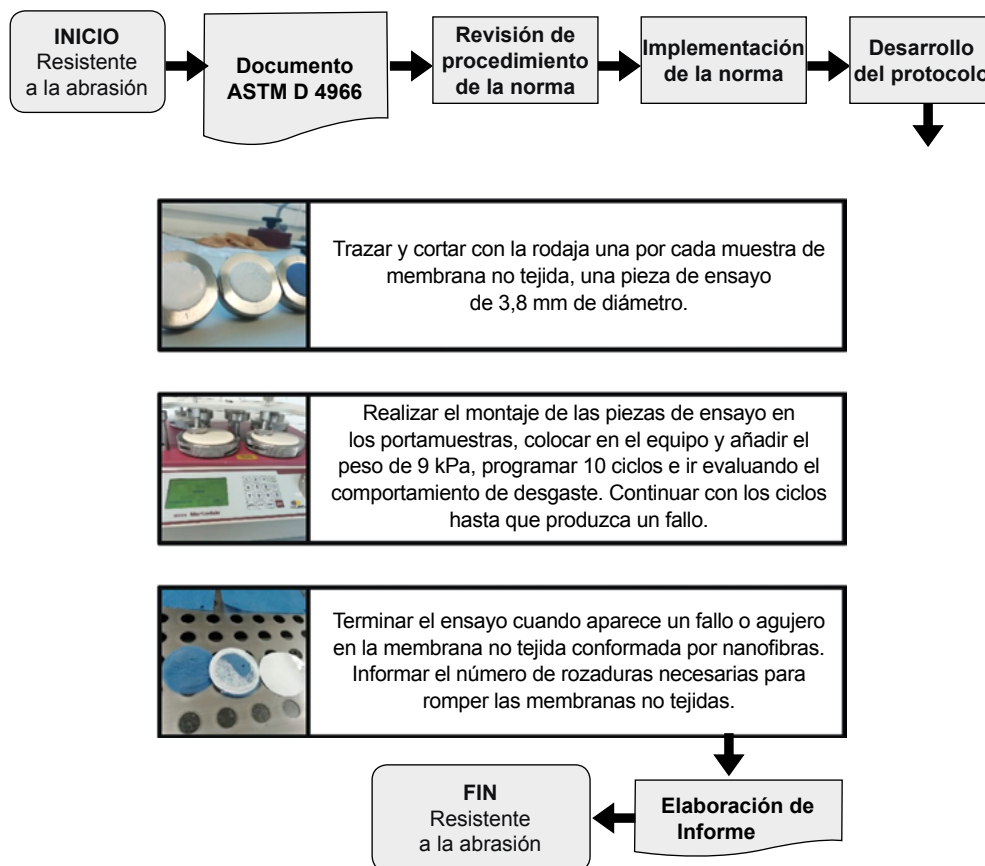
- La referencia a la norma NTC 2051-3.
- Una referencia al método de prueba ASTM D4966.
- Todos los detalles necesarios para la identificación de la pieza de ensayo no tejida y tamaño de muestra.
- La atmosfera de acondicionamiento usada.
- Cualquier característica inusual observada durante la prueba.
- Tipo de abradant, número de rozaduras necesarias para romper las membranas no tejidas.
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Equipo de prueba.

- **Referencias**

Norma ASTM D4966. ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Textile Fabrics (Martindale Abrasion Tester Method)

- **Diagrama de flujo**

Figura 23. Diagrama de flujo resistencia a la abrasión



4.5. Estructura porosa

4.5.1. Porosidad

Los poros se forman por intersección entre las nanofibras o el espacio intersticial vacío entre ellas. Las características más comunes de las membranas conformadas por nanofibras porosas son el tamaño de poro y el área superficial BET, por la técnica de adsorción/desorción de nitrógeno isotérmico (8,64,65,68-70).

- **Finalidad y alcance**

Este protocolo, especifica un método para la evaluación de membranas no tejidas conformadas por nanofibras por porosidad y área superficial Branauer Emmet Teller (BET), por la técnica de adsorción/desorción de nitrógeno isotérmico.

- **Definiciones**

Muestra: un producto obtenido mediante el proceso de electrospinning. La muestra debe ser identificable y rastreada hasta su origen.

Especimen o pieza de ensayo: una porción específica de la muestra identificada sobre la cual se realiza una prueba. Muchos especímenes pueden analizarse con la misma muestra, utilizando diferentes ubicaciones.

- **Equipos y condiciones ambientales**

Equipos

- Cámara ambiental o aire acondicionado, de acuerdo con la norma NTC 378
- Balanza analítica
- Porosímetro Micromeritics ASAP 2020

Reactivos

- Nitrógeno líquido 4 litros por muestra

Materiales

- Piezas de ensayo no tejidas.
- Tijeras
- Pinzas
- Matraz de vidrio: (tubo, soporte de tubo, inserto de vidrio y válvula de plástico).

Condiciones ambientales: el laboratorio se acondiciona como se especifica en la norma NTC 378 a temperatura de $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y humedad relativa de $50 \pm 2 \%$.

- **Precauciones**

Es responsabilidad del usuario de este protocolo usar elementos de protección personal como guantes, tapabocas, gafas, bata de laboratorio, zapatos tapados y demás elementos que considere necesarios para realizar esta prueba. El personal debe estar entrenado para reducir el riesgo de accidentes eléctricos en la manipulación del equipo electrónico porosímetro y en el riesgo a los que se expone con el uso de nitrógeno líquido pudiendo, asfixia y quemaduras por congelación.

- **Preparación de muestras**

La muestra de membrana no tejida se traza y cortan con la tijera en pequeños pedazos cuadrados de aproximadamente $0,6 \times 0,6$ cm.

- **Descripción de la rutina**

Desgasificación

Pese el tubo, el soporte de tubo, el inserto de vidrio y la válvula de plástico, vacío, luego cargue las piezas de ensayo pesadas y recortadas dentro del matraz de vidrio para ser pesadas de nuevo. En el software ingrese el peso del matraz vacío y el peso del matraz con piezas de ensayo, cargue las piezas en el matraz en el puerto de desgasificación al vacío y programe a una temperatura de fase de evacuación de 90°C a una velocidad de calentamiento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ y una velocidad de evacuación $5,0\text{ mmHg/s}$, nivel de vacío $10\ \mu\text{mHg}$, tiempo de evacuación 60 m. Coloque una manta calefactora debajo del matraz y sujétela con un gato de laboratorio. Inicie el proceso de desgasificación, al terminar baje la manta calefactora, permitiendo que el matraz se enfríe a temperatura ambiente. La desgasificación concluye llenando el matraz con helio, luego se pesa en la balanza analítica.

Prueba

Ingrese los datos de peso en el software, utilizando el equipo de protección criogénico llene el desgasificador del porosímetro con nitrógeno líquido (4 litros), ubique el matraz para el análisis e ingrese en el software los parámetros adsorbato: Nitrógeno, nivel de vacío $10\ \mu\text{mHg}$, tiempo de evacuación 0,1 h, gas de relleno N_2 , rango de presión relativa p/p_0 0,01-0.2. Al finalizar los procesos de adsorción y desorción, retire el matraz del porosímetro usando el equipo de seguridad.

- **Evaluación**

La evaluación de la porosidad y del área superficial se realiza mediante los resultados arrojados por el software del porosímetro Micromeritics ASAP 2020.

- **Informe**

El informe del ensayo debe incluir la siguiente información:

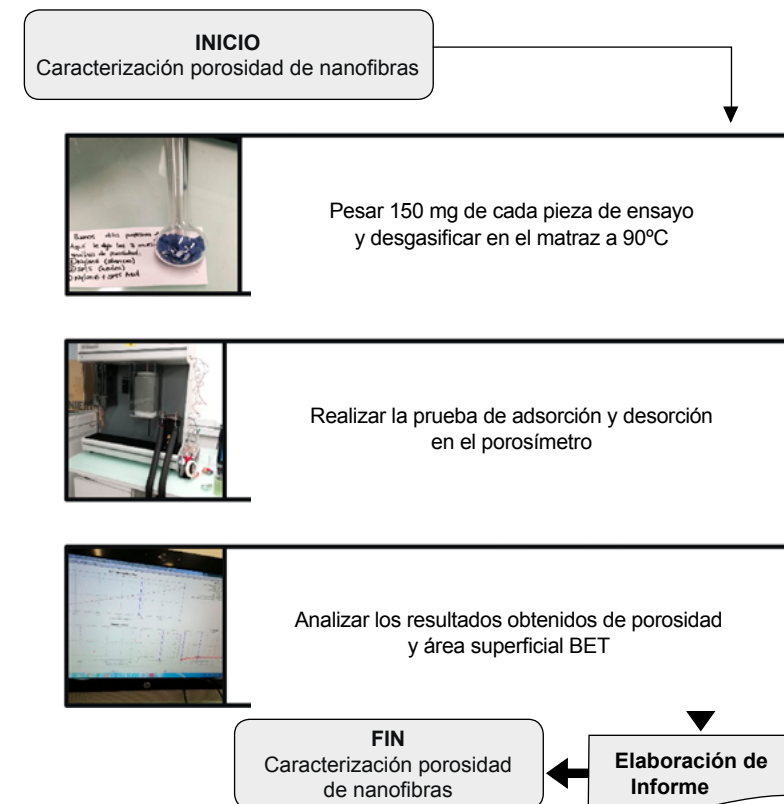
- Todos los detalles necesarios para la identificación de la pieza de ensayo no tejida.
- La atmósfera de acondicionamiento usada (temperatura y humedad relativa).
- La evaluación de la porosidad y del área superficial y el análisis de resultados
- Cualquier característica inusual observada durante el ensayo.
- Nombre y dirección de la institución de prueba.
- Equipo de prueba.

- **Referencias**

Norma ASTM D4966. ASTM INTERNATIONAL. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Textile Fabrics (Martindale Abrasion Tester Method)

- **Diagrama de flujo**

Figura 24. Diagrama de flujo porosidad.



Referencias

1. ASTM. Standard Terminology Relating to Fabrics and Fabric Test Methods. 2013 p. 1-11.
2. Texdelta. Características de las fibras sintéticas para la fabricación de no tejidos [Internet]. 2017 [cited 2017 Oct 17]. Available from: <http://texdelta.com/blog/caracteristicas-de-las-fibras-sinteticas-para-la-fabricacion-de-tejidos/>
3. INDA, EDANA. Nonwovens Standard Procedures. 2015.
4. Blog textil. ¿Qué tipo de tela es punto de algodón o el algodón Jersey? [Internet]. [cited 2018 Apr 9]. Available from: <http://www.latelafeliz.com/es/blog/56-que-tipo-de-tela-es-punto-de-algodon-o-el-algodon-jersey>
5. ICONTEC. NTC 3911. 1996;
6. Abu Sayed. What is non-woven fabric? Characteristics and uses of non-woven fabric [Internet]. 2017. [cited 2017 Feb 17]. Available from: <https://textileapex.blogspot.com.co/2014/09/characteristics-uses-of-non-woven.html>
7. Kellie G. Advances in Technical Nonwovens. The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited. 2016. 508 p.
8. Tanchis G. The Nonwovens - Reference Books of Textiles Technology. ACIMIT. 2008. 240 p.
9. S.J. Russell. Handbook of Nonwovens [Internet]. The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited. Elsevier; 2007. 530 p. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781855736030500019>
10. Barrera B. Ensayos identificación de fibras [Internet]. 2017 [cited 2017 Nov 2]. Available from: https://portafoliotextilgraubarrerabeatriz.files.wordpress.com/2015/05/aspectomicroscopio_2.jpg
11. Huang ZM, Zhang YZ, Ramakrishna S, Lim CT. Electrospinning and mechanical characterization of gelatin nanofibers. Polymer (Guildf). 2004;45(15):5361-8.

12. Kanmani P, Rhim J-W. Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and ZnO nanoparticles. *Carbohydr Polym.* 2014;106:190-9.
13. Dastjerdi R, Mojtahedi MRM, Shoshtari AM, Khosroshahi A. Investigating the production and properties of Ag/TiO₂/PP antibacterial nanocomposite filament yarns. *J Text Inst* [Internet]. 2010 Feb 22;101(3):204-13. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00405000802346388>
14. Raj H, Prasad M, Taek K, Seo YA, Raj D, Tshool S, et al. Electrospun nylon-6 spider-net like nanofiber mat containing TiO₂ nanoparticles : A multifunctional nanocomposite textile material. *J Hazard Mater* [Internet]. 2011;185(1):124-30. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.006>
15. Pant HR, Pandeya DR, Nam KT, Baek W il, Hong ST, Kim HY. Photocatalytic and antibacterial properties of a TiO₂/nylon-6 electrospun nanocomposite mat containing silver nanoparticles. *J Hazard Mater* [Internet]. 2011;189(1-2):465-71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.062>
16. Gieseking B, Jäck B, Preis E, Jung S, Forster M, Scherf U, et al. Electrospun Ultrathin Nylon Fibers for Protective Applications. *Polym Polym Compos* [Internet]. 2012 Jun 20;21(7):449-56. Available from: <http://arxiv.org/abs/1206.4529>
17. Montazer M, Malekzadeh SB. Electrospun antibacterial nylon nanofibers through in situ synthesis of nanosilver: preparation and characteristics. *J Polym Res* [Internet]. 2012;19(10):6. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10965-012-9980-8>
18. Ryu YJ, Kim HY, Lee KH, Park HC, Lee DR. Transport properties of electrospun nylon 6 nonwoven mats. *Eur Polym J* [Internet]. 2003 Sep;39(9):1883-9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001430570300096X>
19. Li Y, Huang Z, Lü Y. Electrospinning of nylon-6,6,1010 terpolymer. *Eur Polym J* [Internet]. 2006 Jul;42(7):1696-704. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0014305706000553>
20. Zhang S, Shim WS, Kim J. Design of ultra-fine nonwovens via electrospinning of Nylon 6: Spinning parameters and filtration efficiency. *Mater Des* [Internet]. 2009 Oct;30(9):3659-66. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2009.02.017>
21. Kim H, Pant H, Park CH, Leonard D, Hwang BOS, Choi NAGJ, et al. Electrical properties of ZnO/Nylon-6 spider-wave- like nano-netsprepared via electrospinning. *Dig J Nanomater Biostructures.* 2013;8(1):385-93.
22. Ravindra DK. Polyester Nanocomposite fibers with Antibacterial Properties. *Adv Appl Sci Res.* 2011;2(4):491-502.

23. Lee S, Obendorf SK. Use of Electrospun Nanofiber Web for Protective Textile Materials as Barriers to Liquid Penetration. *Text Res J.* 2007;77(9):696-702.
24. Barani H. Antibacterial continuous nanofibrous hybrid yarn through in situ synthesis of silver nanoparticles: preparation and characterization. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2014 Oct;43:50-7.
25. McCarthy BJ. Textiles for hygiene and infection control. Woodhead P. The Textile Institute, Woodhead Publishing Limited. Cambridge; 2011. 232 p.
26. Hurst SJ. Biomedical Nanotechnology. In: CRC Press [Internet]. Neelina H. Boca Raton (Florida); 2011. p. 1-13. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-1-61779-052-2_1
27. Haydon B. Nanomaterials and Their Applications in Textiles, Standards: Domestic Standardization for Canadian Manufacturers and Importers and International. 2013. 36 p.
28. Siegfried B. NanoTextiles : Functions, nanoparticles and commercial applications. *Mater Sci Technol.* 2007;1(December):1-44.
29. NANOWERK. Nanotechnology textiles [Internet]. 2010. Available from: <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=19451.php>
30. Will Soutter. Nanotechnology in Textiles [Internet]. 2012. Available from: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3058>
31. Patra JK, Gouda S. Application of nanotechnology in textile engineering: An overview. *J Eng Technol Res* [Internet]. 2013;5(5):104-11. Available from: http://www.academicjournals.org/article/article1379503776_Patra%2520and%2520Gouda.pdf
32. Wong YWH, Yuen CWM, Leung MYS, Ku SKA, Lam HLI. Selected applications of nanotechnology in textiles. *AUTEX Res J.* 2006;6(1):1-8.
33. Jeevani T. Nanotextiles- A Broader Perspective. *J Nanomed Nanotechnol* [Internet]. 2011;2(7):5. Available from: <http://www.omicsonline.org/nanotextiles-a-broader-perspective-2157-7439.1000124.php?aid=3269>
34. Joshi M. Nanotechnology: A New Route to High Performance Textiles. *Text Prog* [Internet]. 2011 [cited 2016 Apr 4];43(3):272-93. Available from: <http://www.nasi.org.in/Nano/15 - Mangla Joshi.pdf>
35. Yin XL, Krifa M, Koo JH. Flame-Retardant Polyamide 6/Carbon Nanotube Nanofibers: Processing and Characterization. *J Eng Fiber Fabr.* 2015;10(3):1-11.
36. Braghirolli DI, Steffens D, Pranke P. Electrospinning for regenerative medicine: a review of the main topics. *Drug Discov Today.* 2014 Apr;
37. Agarwal S, Wendorff JH, Greiner A. Use of electrospinning technique for biomedical applications. *Polymer (Guildf).* 2008 Dec;49(26):5603-21.

38. Montero RB, Vial X, Nguyen DT, Farhand S, Reardon M, Pham SM, et al. bFGF-containing electrospun gelatin scaffolds with controlled nano-architectural features for directed angiogenesis. *Acta Biomater* [Internet]. 2012 May [cited 2014 May 5];8(5):1778-91. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3432918&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
39. Okutan N, Terzi P, Altay F. Affecting parameters on electrospinning process and characterization of electrospun gelatin nanofibers. *Food Hydrocoll* [Internet]. 2014 Aug [cited 2014 Mar 21];39:19-26. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X13004062>
40. Zhang Y, Ouyang H, Lim CT, Ramakrishna S, Huang Z-M. Electrospinning of gelatin fibers and gelatin/PCL composite fibrous scaffolds. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* [Internet]. 2005 Jan 15 [cited 2014 May 2];72(1):156-65. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15389493>
41. Kharaziha M, Nikkhah M, Shin S-R, Annabi N, Masoumi N, Gaharwar AK, et al. PGS:Gelatin nanofibrous scaffolds with tunable mechanical and structural properties for engineering cardiac tissues. *Biomaterials* [Internet]. 2013 Sep [cited 2014 Jan 23];34(27):6355-66. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23747008>
42. Zhuo H, Hu J, Chen S. Electrospun polyurethane nanofibres having shape memory effect. *Mater Lett* [Internet]. 2008 May [cited 2014 Mar 28];62(14):2074-6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167577X07011135>
43. Sill T, Recum H von. Electrospinning: applications in drug delivery and tissue engineering. *Biomaterials*. 2008;29:1989-2006.
44. Sun B, Long YZ, Zhang HD, Li MM, Duvail JL, Jiang XY, et al. Advances in three-dimensional nanofibrous macrostructures via electrospinning. *Prog Polym Sci*. 2013 Jun;
45. Rogina A. Electrospinning process: Versatile preparation method for biodegradable and natural polymers and biocomposite systems applied in tissue engineering and drug delivery. *Appl Surf Sci*. 2014 Mar;296:221-30.
46. Qin Y, Chronakis IS. Micro-/Nano-Fibers by Electrospinning Technology: Processing, Properties and Applications. In: *Micro-Manufacturing Engineering and Technology*. Elsevier; 2010. p. 264-86.
47. Emre Kiyak Y, Cakmak E. Nanofiber Production Methods. *Electron J Text Technol Tekst Teknol Elektron Derg Kiyak EY, Cakmak E Electron J Text Technol* [Internet]. 2014;8(83):49-6049. Available from: http://teknolojikarastirmalar.com/pdf/tr/04_2014_8_3_1169_1945.pdf
48. Gao Y, Bach Truong Y, Zhu Y, Louis Kyratzis I. Electrospun antibacterial nanofibers: Production, activity, and in vivo applications. *J Appl Polym Sci* [Internet]. 2014 Sep 15;131(18):1-13. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.40797>

49. Oxolutia. Electrospinning [Internet]. 2017 [cited 2017 Nov 7]. Available from: <http://www.oxolutia.com/technology/electrospinning/>
50. Chong EJ, Phan TT, Lim IJ, Zhang YZ, Bay BH, Ramakrishna S, et al. Evaluation of electrospun PCL/gelatin nanofibrous scaffold for wound healing and layered dermal reconstitution. *Acta Biomater* [Internet]. 2007 May [cited 2013 Nov 18];3(3):321-30. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17321811>
51. Pant HR, Pant B, Sharma RK, Amarjargal A, Kim HJ, Park CH, et al. Antibacterial and photocatalytic properties of Ag/TiO₂/ZnO nano-flowers prepared by facile one-pot hydrothermal process. *Ceram Int* [Internet]. 2013;39(2):1503-10. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.07.097>
52. Gupta K, Haider A, Choi Y, Kang I. Nanofibrous scaffolds in biomedical applications. *Biomater Res* [Internet]. 2014;18(1):5. Available from: <http://www.biomaterialsres.com/content/18/1/5>
53. ELMARCO. Nanospider equipment [Internet]. 2017 [cited 2017 Nov 7]. Available from: <http://www.elmarco.com/gallery/nanospider-equipment/>
54. Sutka A, Kukle S, Gravitis J, Malašauskienė J. Scheme of electrospinning setup—“Nanospider.” [Internet]. 2013 [cited 2017 Nov 7]. Available from: https://www.researchgate.net/figure/258400484_fig6_Scheme-of-electrospinning-setup-Nanospider
55. Staysafe. An Introduction into SMS Material [Internet]. 2017 [cited 2017 Nov 7]. Available from: <http://www.staysafemedicalclothing.com/uncategorized/an-introduction-into-sms-material/>
56. Behery HM. Characterisation and testing of non wovens with emphasis on absorbency. In: *Non wovens-Theory, process, performance and testing*. 1993. p. 207-28.
57. ICONTEC. Normas Técnicas Colombianas NTC [Internet]. 2018 [cited 2018 Feb 4]. Available from: http://e-normas.icontec.org.bdigital.sena.edu.co/icontec_enormas_mobile.aspx/modCliente/frm_ClienteBienvenida.aspx
58. Heikkilä P, Sipilä A, Peltola M, Harlin A, Taipale A. Electrospun PA-66 coating on textile surfaces. *Text Res J* [Internet]. 2007;77(11):864-70. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-36949016222&partnerID=40&md5=0233d7ff35b1914102432dcd24c856c4%5Cnhttp://trj.sagepub.com/content/77/11/864.full.pdf>
59. Pant HR, Bajgai MP, Yi C, Nirmala R, Nam KT, Baek W Il, et al. Effect of successive electrospinning and the strength of hydrogen bond on the morphology of electrospun nylon-6 nanofibers. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp* [Internet]. 2010;370(1-3):87-94. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.08.051>

60. Faccini M, Vaquero C, Amantia D. Development of protective clothing against nanoparticle based on electrospun nanofibers. *J Nanomater.* 2012;2012.
61. Matulevicius J, Kliucininkas L, Martuzevicius D, Krugly E, Tichonovas M, Baltrusaitis J. Design and Characterization of Electrospun Polyamide Nanofiber Media for Air Filtration Applications Design and Characterization of Electrospun Polyamide Nanofiber Media for Air Filtration Applications. 2015;2014(August).
62. Johnson B, Allcorn E, Baek MG, Koo JH, Lake CL, Lake P. Combined effects of montmorillonite clay, carbon nanofiber, and fire retardant on mechanical and flammability properties of polyamide 11 nanocomposites. 22nd Annu Int Solid Free Fabr Symp - An Addit Manuf Conf SFF 2011 [Internet]. 2011;504-17. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84898424482&partnrerID=40&md5=4e116ac48f43327188d53ad9e783313b>
63. AATCC American Association of Textile Chemists and Colorists AATCC. AATCC - Technical Manual. AATCC 2015 p. 512.
64. Ramalingam M. Nanofiber Composites for Biomedical Applications. *Nanofiber Composites for Biomedical Applications.* 2017. 55-78 p.
65. Ramakrishna S, Fujihara K, Teo W-E, Lim T-C, Ma Z. An introduction to Electrospinning and Nanofibers. World Scientific; 2005.
66. ASTM International PAWC. ASTM D7334-08, standard practice for surface wettability of coatings, substrates and pigments by advancing contact angle measurement: active standard. *Am Soc Test Mater* [Internet]. 2013;05.06(Reapproved):1-3. Available from: https://www.techstreet.com/standards/astm-d7334-08-2013?product_id=1860440
67. Tan K, Obendorf SK. Fabrication and evaluation of electrospun nanofibrous antimicrobial nylon 6 membranes. *J Memb Sci.* 2007;305(1-2):287-98.
68. Andrad A. Science and technology of polymer nanofibers [Internet]. *Chemistry & ...* 2008. 1-424 p. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.200490137/abstract%5Cnhttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=KOdoYUfHhZAC&oi=fnd&pg=PR7&dq=SCIENCE+AND+TECHNOLOGY+OF+POLYMER+NANOFIBERS&ots=ua7ZAFDC7i&sig=xW1hWs2FsE6kFAPuEF84pu-3dNw>
69. Mohammadzadehmoghadam S, Dong Y, Barbhuiya S, Guo L, Liu D, Umer R, et al. Nano-size Polymers [Internet]. *Nano-size Polymers.* 2016. 89-154 p. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-39715-3_4#enumeration
70. Ko FK, Wan Y. Introduction to nanofiber materials. Vol. 9780521879, Introduction to Nanofiber Materials. 2014. 1-267 p.

Información sobre los autores

Los autores de la obra *Protocolos de caracterización de nanofibras no tejidas*, son ingenieros biomédicos, ingenieros mecánicos, ingenieros textiles, ingenieros químicos, de la Facultad de Ingeniería y, personal de salud formado en medicina, biología y bacteriología de la Facultad de Medicina de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín-Colombia, con gran trayectoria como investigadores en ciencias biomédicas e ingeniería textil.

Mónica Liliana Mejía Suaza

Ingeniera biomédica, Especialista y magíster en ingeniería. Grupo de investigación en bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana.

Diana Paola Cuesta Castro

MD. Especialista, magíster y doctora en epidemiología. Grupo de investigación en salud pública, Universidad Pontificia Bolivariana.

María Nela Galeano

Ingeniera textil, magíster en ingeniería industrial. Universidad Pontificia Bolivariana.

Nelson Javier Escobar Mora

Ingeniero mecánico, magíster en ingeniería. Grupo de investigación en bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana.

Beatriz Janeth Galeano Upegui

Ingeniero mecánico, magíster en ingeniería. Grupo de investigación en Bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana.

Lina Marcela Hoyos Palacio

Ingeniera química, doctora en ingeniería y termodinámica. Grupo de investigación en biología de sistemas, Universidad Pontificia Bolivariana.

Jennifer Zapata Giraldo



Ingeniera biomédica, estudiante de maestría en ingeniería. Grupo de investigación en bioingeniería, Universidad Pontificia Bolivariana.

Isabel Cristina Ortiz Trujillo

Bióloga, magíster y doctora en biología. Grupo de investigación en biología de sistemas, Universidad Pontificia Bolivariana.

Luz Elena Botero Palacio

Bacterióloga y laboratorista clínica, especialista en gerencia y economía de la salud, magíster en ciencias básicas biomédicas y doctora en ciencias médicas. Grupo de investigación en biología de sistemas, Universidad Pontificia Bolivariana.

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana</p>	<p>SU OPINIÓN</p>	
<p>Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía correo electrónico a editorial@upb.edu.co Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, correo electrónico y número telefónico.</p>		

