

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



BUAP

Facultad de Ingeniería Colegio de Ingeniería Textil

Preparación de Nanotextiles de Algodón con Propiedades Superhidrofóbicas y de Protección a la Radiación Ultravioleta

TESIS

Que para Obtener el Título de:

Licenciatura en Ingeniería Textil

Presenta:

C. José Fernando Huerta Rosas

Directores de Tesis:

Dr. José Francisco Sánchez Ramírez

Dr. Joel Díaz Reyes.

Puebla, Pue., Septiembre 2019

DEDICATORIA

A mi Mamá, mis Hermanas y Pascual por el apoyo durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. José Francisco Sánchez Ramírez por su tiempo y su paciencia para que este proyecto se lleve a cabo, al Maestro José Ángel Juárez Torres por la oportunidad de terminar la carrera, a Josefina Águila López por su apoyo en el laboratorio y a todos los maestros del colegio de ingeniería textil que contribuyeron en mi formación. Gracias

RESUMEN

Se presentan los resultados de la preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta incorporando homogénea de nanopartículas de plata y tratamiento químico con hexadeciltrimetoxisilano sobre la superficie. Tela de algodón tejido plano, con un tratamiento de descruce y blanqueo fue utilizada para su modificación funcional. Nanopartículas metálicas fueron sintetizadas *ex-situ* utilizando el método de química coloidal con un tamaño promedio de 16.3 nm y con un máximo en el espectro de absorción óptica a 412 nm. La modificación de la rugosidad y generación protectora de radiación de las fibras textiles se desarrolló por su simple inmersión y adsorción de nanopartículas coloidales a temperatura ambiente. La modificación con hexadeciltrimetoxisilano de los textiles conteniendo a las nanopartículas genero la formación de textiles superhidrofóbicos. Los nanotextiles preparados exhiben propiedades superhidrofóbicas con medidas de ángulo de contacto mayores a 160° y con excelentes valores de protección a la radiación ultravioleta mayores 50+.

ÍNDICE

CAPITULO I.....	9
I.2 Planteamiento del problema.....	12
I.3.Hipótesis.....	13
I.4.Pregunta principal.....	13
I.5.Objetivos.....	14
1.5.1 Objetivo general.....	14
1.5.2. Objetivos particulares.....	14
I.6. Justificación.....	15
CAPÍTULO II.....	16
II.1.1 Nanotecnología.....	18
II.1.1.a Nanopartícula.....	18
II.1.1.b Nanotextiles.....	18
II.1.2 Nanoacabados.....	19
II.2 Clasificación de fibras textiles.....	19
II.2.1 Composición química de la fibra de algodón.....	20
II.2.2 Tela de algodón.....	20
II.2.3 Propiedades físicas y químicas del algodón.....	20
II.2.4 Fabricación de la tela de algodón.....	22
II.2.5.A. Desengomado por oxidación.....	25
II.2.5.B. Descrude.....	25
II.2.5.C. Blanqueo.....	26
II.2.6 Principales usos de la tela de algodón.....	26
II.3 Nanotextiles con propiedades de protección ultravioleta.....	26
II.3.1 El Sol y el Hombre: breve historia.....	27
II.3.2. La radiación ultravioleta.....	28
II.3.3 Penetración de la radiación ultravioleta en la piel.....	30
II.3.4. Factor de protección a la radiación ultravioleta de artículos textiles.....	31
II.3.5 Transmitancia espectral.....	32
II.3.6. Clasificación factor de protección solar y etiquetado de las prendas protectoras.....	33
II.4. Nanotextiles con Propiedades Superhidrofóbicas.....	33

II.4.1. Ángulo de contacto.....	35
II.5. Métodos de preparación de las nanopartículas metálicas.....	37
II.6. Técnicas de Caracterización de Nanotextiles.....	38
II.6.1 Espectroscopía UV-VIS.....	39
II.6.2. Resonancia de plasmón superficial localizado.....	40
II.6.3. Microscopía electrónica de transmisión.....	41
II.6.4. Microscopía electrónica de barrido.....	42
II.6.5. Espectroscopia de energía dispersiva.....	42
CAPITULO III.....	43
III.1 Materiales utilizados.....	44
III.2.Descrude y blanqueo de la tela de algodón.....	44
III.3. Síntesis y caracterización de dispersiones coloidales de nanopartículas de plata.....	47
III.4. Preparación de nanotextiles de algodón con diferentes concentraciones de nanopartículas de plata.....	51
III.5. Imágenes SEM nanotextiles Ag/HDTMS.....	55
III.6. Espectros EDS.....	56
CAPITULO IV.....	57
Propiedades funcionales de los nanotextiles: Protección UV.....	58
IV.1 Factor de protección UV.....	58
CAPITULO V.....	64
V.1 Diseño e implementación del equipo utilizado para medir el ángulo de contacto.....	65
V.2. Medición del ángulo de contacto.....	67
V.3. Propiedades hidrofóbicas del tejido utilizado.....	69
CAPITULO VI.....	72
CONCLUSIONES FINALES.....	73
Bibliografía.....	74
Referencias electrónicas.....	78
Anexos.....	79
Productos obtenidos:.....	79
Congresos.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Medida de factor de protección solar.....	33
Tabla 2. Concentraciones de nanopartículas disueltas en diferentes cantidades de agua.....	51
Tabla 3. Valores Promedio de transmitancia de las telas de algodón y nanotextiles.	62
Tabla 4. Valores promedio de FPU de la tela de algodón de referencia y los nanotextiles según la norma AS/NZ 4399:1996.....	63
Tabla 5. Medida del ángulo de contacto de los diferentes nanotextiles.	68
Tabla 6. Resultados obtenidos del valor de ángulo de contacto del nanotextil con tratamiento Ag/HDTMS y una relación con FPU.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección transversal de la fibra de algodón	21
Figura 2. Formula química de la celulosa del algodón	22
Figura 3. Espectro de radiación magnética y radiación ultravioleta.	29
Figura 4. Penetración de los rayos UVA y UVB a las capas de la piel.....	30
Figura 5. Esquema de transmitancia espectral a un textil.	32
Figura 6. Representación esquemática del ángulo de contacto.	36
Figura 7. Método de síntesis de nanopartículas metálicas.	37
Figura 8. Espectro electromagnético.....	39
Figura 9. Oscilación electromagnética de nanopartículas metálicas.....	40
Figura 10. Esquema de un TEM.	41
Figura 11. Curva de descruce de la tela de algodón.	45
Figura 12. Curva de blanqueo de la tela de algodón.....	45
Figura 13. Limpieza del material textil: a) Lavado del material textil con jabón neutro, b) Enjuague con agua desionizada, c) Tratamiento con alcohol etílico, d) Secado del material textil.....	46
Figura 14. Imágenes de las diferentes etapas de la síntesis de las dispersiones coloidales de nanopartículas de Ag. a) Nitrato de plata hidrolizado, b) Nitrato de plata(AgNO_3), Borohidruro de sodio (NaBH_4), Citrato de sodio, c) solución a 30 minutos de agitación, d) solución a 60 minutos de agitación.	48
Figura 15. Espectro de absorción de dispersión coloidal de nanopartículas de plata.	49
Figura 16. A) Micrografía TEM b) histograma de la distribución de tamaño de partículas de Ag. El tamaño promedio (ϕ) es calculado a partir del ajuste Gaussiano del histograma.....	50
Figura 17. Solución coloidal de nanopartículas de plata a diferentes concentraciones a) M1, b) M2, c) M3, d) M4 y e) M5.	51
Figura 18. Imagen del proceso de inmersión de muestras textiles en soluciones coloidales de nanopartículas de plata a diferentes concentraciones.....	52
Figura 19. Muestra textil con diferentes concentraciones de nanopartículas de Ag.....	53

Figura 20. Prehidrolizado de HDTMS.....	54
Figura 21. Muestra textil sumergida en HDTMS.	54
Figura 22. Tratamiento térmico textil/HDTMS.....	54
Figura 23. Imágenes obtenidas mediante microscopia electrónica de barrido de la muestra M2: a) Tela textil pura, b) Fibra textil sin nanotratamiento y c) Fibra textil con incorporación de nanopartículas de Ag.....	55
Figura 24. Espectro EDS de textil/HDTMS. a) Elementos químicos detectados en la superficie de la tela de algodón b) mapeo de rayos X	56
Figura 25. Espectro de transmitancia de las diferentes muestras de algodón y nanotextiles.	60
Figura 26. Arreglo esquemático de los componentes del goniómetro diseñado por la medición del ángulo de contacto.	65
Figura 27. Imagen del goniómetro implementado para medir el ángulo de contacto, a) cámara fotográfica, b) elevador manual, c) jeringa, d) nanotextil, e) caja negra, f) fuente de luz, g) infusora, h) computadora con el software ImageJ.....	66
Figura 28. Imágenes obtenidas del goniómetro de la gota de agua bidestilada depositada sobre la superficie de los diferentes nanotextiles preparados: a) textil sin tratamiento, b) 10 ml de solución Ag. c) 8 ml de solución Ag. + 2ml de agua, d) 6 ml de solución Ag. + 4 ml de agua, e) 4 ml de solución Ag. + 6 ml de agua. En cada una de las imágenes también se presenta las medidas del ángulo de contacto obtenidas utilizando el software ImageJ descargado libremente en internet.	67
Figura 29. a) Textil lavado, b) textil con HDTMS, c) Textil únicamente con nanopartículas de Ag., d) textil con nanopartículas de Ag/ HDTMS.....	70

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN



I.1 Introducción.

Desde su aparición, el ser humano ha tratado de satisfacer sus necesidades básicas entre ellas está la alimentación, vivienda, seguridad y sobre todo la de protegerse contra las inclemencias del clima como la lluvia, el viento y el frío. Las pieles de animales salvajes fueron los primeros materiales utilizados para confeccionar su vestimenta, Al paso del tiempo fueron evolucionando hasta que el ser humano empezó a tejer fibras naturales con técnicas cada vez más corregidas hasta la creación actual de las fibras sintéticas con propiedades más suaves, confortables y sobre todo con propiedades específicas para diferentes tipos de actividad.

La tela de algodón desde su aparición hasta nuestros días ha sido el textil más utilizado para la confección de diferentes tipos de prendas ya sea de uso común o de uso específico, ya que posee gran variedad de extraordinarias propiedades físicas y químicas como son gran suavidad, finura, elongación, absorción, hipoalergenicidad y transpirabilidad. Además de que la materia prima de algodón es de bajo costo, es un producto que se cultiva en muchas partes del mundo, facilitando así su adquisición para la producción de textiles.

Es por ello que la tela de algodón puede ser utilizada desde ropa exterior, interior, mantelería, artículos desechables para la industria hospitalaria, artículos para el hogar, artesanías, telas para exterior como toldos y carpas.

A pesar de los beneficios propios del algodón y sus excelentes beneficios para el desarrollo (confección) de prendas, es necesario incrementar sus propiedades de funcionalidad incorporando nuevas tecnologías y aplicaciones para satisfacer mayores necesidades de forma más útil y específica.

La nanotecnología es un área que actualmente está emergiendo como la única alternativa para desarrollar nuevos sistemas textiles con propiedades de funcionamiento no antes vistas. Los nanoacabados (creados con nanopartículas metálicas, semiconductoras y cerámicas) son los que confieren las nuevas propiedades de funcionamiento de los nanotextiles y es una forma de crear e innovar textiles con una variedad de propiedades

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

jamás imaginadas, por ejemplo, nanotextiles con propiedades de protección a los rayos UV, antibacteriales, retardantes a la flama, superhidrofóbicos, antiestáticas y autolimpieza, por citar solo algunos. Dependiendo del tipo de nanopartícula es posible crear el tipo de nanoacabado. Las nanopartículas metálicas presentan nuevas y extraordinarias propiedades ópticas, estructurales y antibacteriales que pueden ser aprovechadas para crear nanoacabados y desarrollar nuevos textiles de algodón con propiedades de funcionalidad superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta. Estas nuevas propiedades desarrolladas en los nanotextiles brindan al ser humano nuevos beneficios de autolimpieza para remover y evitar la proliferación de contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos nocivos para la salud. De manera similar las propiedades de protección a la radiación de los nanotextiles disminuye considerablemente la cantidad de radiación ultravioleta transmitida y absorbida, generando una menor exposición de la piel a la radiación nociva proveniente del Sol. Una exposición prolongada a la radiación provoca muchos padecimientos como son: envejecimiento de la piel, eritemas y hasta la aparición de cáncer de piel. Es por ello que este trabajo de tesis en ingeniería textil se propone la preparación y caracterización de nuevos nanotextiles de algodón con propiedades de funcionalidad superhidrofóbicas y de protección UV.

En el capítulo II de este trabajo se presenta el marco teórico el cual sirve como referencia al campo del estudio a realizar, así como la explicación de conceptos y definiciones y una descripción gráfica de las mediciones correspondientes que se le aplicarán al textil en capítulos siguientes.

En el capítulo III se presenta la preparación de nanotextiles funcionales de algodón con la incorporación de plata así como el pretratamiento químico que se le da a un textil para mejorar su adherencia y la incorporación de nanopartículas de plata

En el capítulo IV se muestra las propiedades funcionales de nanotextiles de protección UV, así como los resultados obtenidos mediante la fórmula de factor de protección ultravioleta y un tratamiento químico de HDMTS.

En el capítulo V se realizan las mediciones correspondientes para determinar las propiedades de superhidrofobicidad mediante la medición del ángulo de contacto sobre la

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

superficie de un material textil en presencia de agua. En este proceso en el cual se realiza una secuencia de fotografías y posterior se realiza la medición correspondiente del ángulo.

En el capítulo VI se presentan los análisis y conclusiones finales obtenidas del trabajo de investigación y se determina la validez de la hipótesis.

Para lograr el propósito, los objetivos particulares de este trabajo son: sintetizar e incorporar la plata mediante el método *ex-situ*, utilizar la reducción química de iones metálicos, caracterización de las propiedades estructurales y ópticas de las nanopartículas de plata utilizando la espectroscopia UV-Vis, microscopia electrónica de transmisión y espectroscopia de dispersión de rayos X, incorporar diferentes concentraciones gracias al método de simple inmersión de nanopartículas de plata sobre tela de algodón.

I.2 Planteamiento del problema.

Las actuales demandas para mejorar las propiedades e incrementar las aplicaciones de los textiles convencionales, está brindando la oportunidad para el desarrollo de la industria textil. Los llamados nanotextiles son una clase de materiales con nuevas propiedades de funcionalidad que están siendo considerados como la única alternativa de desarrollo de este sector. Utilizando las extraordinarias propiedades de las llamadas nanopartículas será posible crear nuevos y complejos acabados funcionales que los textiles convencionales actualmente carecen. Por lo anterior, en este proyecto de tesis en ingeniería textil se realizó la preparación de nanotextiles de algodón, conteniendo nanopartículas, con propiedades de funcionalidad protección a la radiación ultravioleta y de superhidrofobicidad. Utilizando la síntesis controlada *ex-situ* de nanopartículas de plata y su adsorción sobre las fibras de la tela de algodón fue posible la preparación de estos nanotextiles. Las propiedades de composición química, estructurales y ópticas de las nanopartículas de plata y nanotextiles fueron evaluadas utilizando las técnicas de Espectroscopía UV-Vis, Espectroscopia de Energía Dispersiva, Difracción de Rayos-X y Microscopía Electrónica de Barrido. Las propiedades de funcionalidad de protección a la

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

radiación UV y superhidrofobicidad, fueron evaluadas cuantificando el Factor de Protección Ultravioleta (FPU) y el Ángulo de Contacto.

- 1) Una mínima exposición de la piel a las radiaciones ultravioleta procedentes del Sol. Ello es especialmente importante en prendas destinadas a ropa deportiva, bañadores, ropa de trabajo para exteriores, toldos, sombrillas, etc. Actualmente, existe un gran número de productos textiles que permiten el paso de los rayos ultravioleta, en mayor o menor cantidad,
- 2) La acción del agua, por ejemplo, la repulsión del agua puede impedir que se alojen bacterias en la superficie del textil y que se manche, además con la propiedad de superhidrofobicidad se genera la autolimpieza del textil. Un textil superhidrofóbico nos podrá mantener secos ante las inclemencias del tiempo y frescos.

I.3.Hipótesis.

Con la inclusión de nanopartículas de plata en telas de algodón se pueden crear nanotextiles con nuevas propiedades de funcionalidad de protección a la radiación UV y superhidrofobicidad.

I.4.Pregunta principal.

- 1.¿Es posible que la incorporación de nanopartículas en telas de algodón genere nuevos nanotextiles con propiedades multifuncionales de protección a la radiación UV y superhidrofobicidad?

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

I.5.Objetivos.

1.5.1 Objetivo general.

Preparar nanotextiles multifuncionales de algodón con propiedades de protección a la radiación UV y superhidrofobicidad utilizando la incorporación de nanopartículas de plata sintetizada *sex-situ*.

1.5.2. Objetivos particulares.

- 1.Preparar nanotextiles superhidrofóbicos y de protección a la radiación ultravioleta conteniendo nanopartículas de plata.
- 2.Realizar una síntesis controlada *ex-situ* de nanopartículas de plata utilizando el método de química coloidal
- 3.Caracterizar de las propiedades estructurales y ópticas de las nanopartículas de plata utilizando la espectroscopia UV-Vis, microscopía electrónica de transmisión y espectrometría de dispersión de rayos-X
- 4.Incorporar nanopartículas de plata en la tela de algodón utilizando el método de inmersión en diferentes concentraciones y tratamiento térmico.
- 5.Caracterizar las propiedades de protección de la radiación UV y superhidrofobicidad de los nanotextiles desarrollados.

I.6. Justificación.

El adelgazamiento de la capa de ozono, junto a la falta de cuidado hacia una sobreexposición de la radiación ultravioleta proveniente del Sol y sobre todo a la creencia de que una piel bronceada es más atractiva que una piel pálida (estéticamente hablando) han provocado diferentes padecimientos en la piel del hombre que a menudo son muy severos causando envejecimiento prematuro, manchas y en casos extremos la aparición de cáncer. Este último es paulatino y acumulativo a lo largo de la vida llegando a ser irreversible. Para resolver estos inconvenientes, el hombre ha visto en los textiles una forma de protección frente a los efectos adversos de la radiación solar y se creía que esta es adecuada. Sin embargo, numerosos estudios han concluido que la mayor parte de la ropa deportiva o prendas en general, no proporcionan una protección suficiente (Algaba Joaquín I.M., 2004). Aunado a lo anterior y a la falta de información en nuestro país sobre el nivel de protección contra la radiación ultravioleta que nos brindan los textiles nacionales, nos ha conducido a desarrollar nanotextiles de algodón con propiedades verdaderas de protección a esta radiación.

Los avances en la síntesis y caracterización de las nuevas propiedades de las nanopartículas de plata, están atrayendo su aplicación en el área de nanoacabados para el diseño y fabricación de nuevos materiales nanotextiles con propiedades multifuncionales que ayuden a satisfacer las necesidades del hombre.

Aunado a los beneficios de los altos valores del factor de protección ultravioleta, la propiedad de superhidrofobicidad es otro factor que puede generar en los textiles nuevas propiedades de funcionalidad incrementando el bienestar del hombre. Una piel libre de humedad y de bacterias evitara la proliferación de hongos y microorganismos que la afectan evitando así la aparición de rozaduras causadas por estar en contacto con una superficie mojada. Además la superhidrofobidad genera textiles autolimpiables, repelentes al polvo o a micropartículas, manteniendo así al textil limpio y seco.

En el presente trabajo de investigación se plantea la preparación de nanotextiles de algodón conteniendo nanopartículas de plata con propiedades multifuncionales superhidrofóbicas y de protección a los rayos ultravioleta.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO



II.1 Marco teórico.

En la industria textil el desarrollo de la nanotecnología está permitiendo la preparación de nanopartículas con nuevas e interesantes propiedades que pueden ser aprovechadas para la fabricación de tejidos textiles con nuevos e interesantes nanoacabados confiriéndoles ciertas características antibacterianas, de autolimpieza, de protección a la radiación UV, transpirables y superhidrofóbicas (Sawhney *et al.*, 2008). Esta nueva clase de materiales textiles son definidos como “nanotextiles” que tienen la capacidad de responder a cambios o estímulos mecánicos, térmicos, eléctricos y químicos (Coyle, 2007). (Perepelkin, 2005). (Addington, M., Scholdek, D. 2005)

Para desarrollar nuevos nanotextiles con la incorporación de diferentes tipos de nanopartículas sobre la superficie textil, se han propuesto diferentes métodos que pueden ser clasificados como *in-situ* y *ex-situ*. El primer método se basa en la activación química de las fibras textiles para crear sitios reactivos de enlaces con los precursores moleculares o atómicos para la síntesis *in-situ* de las nanopartículas. En cambio el segundo método, involucra la síntesis separada de nanopartículas y su posterior anclaje por simple inmersión sobre la superficie de las fibras textiles. Después del anclaje de las nanopartículas en ambos casos se aplica un tratamiento térmico para generar una mayor adherencia de las nanopartículas en la superficie del textil (Li, 2008, Lee, 2004,). A pesar de que ambos métodos presentan ventajas y desventajas el método *ex-situ* presenta la ventaja de ser fácilmente reproducible a nivel laboratorio y escalable a nivel industrial. Este es un aspecto a tener en cuenta en la preparación de nanotextiles para poder incrementar sus aplicaciones y sobre todo para disminuir sus costos para que puedan ser accesibles a un público mayor. (Gowri, S. *et al.*, 2010)(Rajaedran, R. *et al* 2013)(Tornari, C. 2012)

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.1.1 Nanotecnología.

La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nanoescala para fabricar materiales con propiedades y maquinas a partir del reordenamiento de átomos o moléculas para la explotación de nuevos fenómenos y propiedades de la materia a nanoescala. (García Serrano L. A., 2010)

II.1.1.a Nanopartícula

Las nanopartículas son definidas como materiales amorfos o cristalinos con tamaños en la escala nanométrica (1 -100 nanómetros) y con formas variadas que van desde esféricas hasta irregulares. La dimensión nanométrica es la responsable de que éstas presenten nuevas e interesantes propiedades que están siendo aprovechadas en diferentes áreas de la ciencia y la tecnología. (Díaz del Castillo Rodríguez F., 2012)

Un nanómetro equivale a la billonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) (Díaz del Castillo Rodríguez F., 2012)(Jarupaiboon, S., et al, 2007)

II.1.1.b Nanotextiles.

Los nanotextiles se podrían definir como una aplicación de las nanopartículas para desarrollar una nueva clase de telas con propiedades no antes vistas permitiendo cubrir distintas necesidades que no se tienen en un material convencional. Estos nuevos textiles pueden ser clasificados como activos que tienen la capacidad de poder reaccionar y detectar condiciones ya sean ambientales, estímulos físicos o químicos que provienen de fuentes térmicas, mecánicas, químicas y eléctricas. En cambio los pasivos solo detectan condiciones pero no reaccionan. (Coley, S. et al 2007) (Melchor Alemán, M.A., Mesta Torres, L. y Martel Estrada, S.A. 2016) (Joshi, L. 2011)

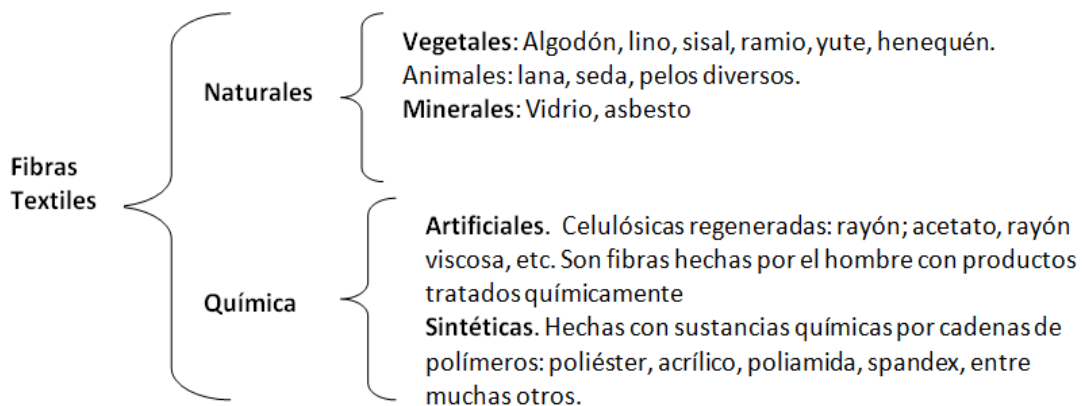
II.1.2 Nanoacabados.

Se podría definir al nanoacabado como la incorporación de estructuras a nivel nanométrico en superficies textiles para generar nuevas propiedades de funcionalidad y así brindar una serie de aplicaciones que de forma natural el material no obtendría por sí sola. Existen muchos y muy variados nanoacabados, entre los principales destacan aquellos que incorporan nanocápsulas, que subministran fármacos, aromas, combaten bacterias, con memoria de forma. El presente trabajo de investigación se centrará en dos conceptos: protección a los rayos UV y superhidrofobicidad.

II.2 Clasificación de fibras textiles.

Una fibra textil es un filamento parecido a un cabello cuyo diámetro muy pequeño con relación a su longitud. Las fibras son las unidades fundamentales que se utilizan en la fabricación de hilos textiles y telas, los cuales deben tener suficiente resistencia, elasticidad, longitud y cohesión para poder hilar. Las fibras naturales de uso más generalizado son la lana, lino y por supuesto el algodón. (Hollen N., 2011)(Gacén Guillen, J. 2006)

Las fibras textiles se pueden clasificar de acuerdo a su naturaleza de obtención. En el cuadro siguiente se presenta en esquema dicha clasificación. (Salas E., 2013)



II.2.1 Composición química de la fibra de algodón.

La fibra de algodón es una fibra natural que está compuestas principalmente de celulosa que van de un 88 a 96.5 % aunque también contiene pequeñas cantidades de grasas, ceras, materiales minerales y algunas impurezas cuyas se encuentran en las capas externas o en el interior de las fibras. (Gordon S. Hsieh Y. L., 2007)

II.2.2 Tela de algodón

El algodón es la fibra natural de origen vegetal más utilizada a nivel mundial. Gracias a las propiedades de transpirabilidad y el confort que ofrecen los tejidos de algodón, los textiles obtenidos a partir de estas fibras son ideales para su uso en climas cálidos. (Solé Cabanes, A. 2012) No obstante, las fibras de algodón por sí mismas no presentan una adecuada protección frente a la radiación ultravioleta y son altamente hidrofílicos. Por lo tanto, el tejido de algodón se ha considerado como un candidato apropiado para la preparación de textiles con protección UV y superhidrofobicidad.

II.2.3 Propiedades físicas y químicas del algodón.

- a)Color. Normalmente el algodón va desde el color blanco hasta color crema, pero también se han obtenido otros colores como son el café, canela y verde.
- b)El algodón posee una forma de cinta granulosa aplastada con unos bordes gruesos, lo que hace a la forma del algodón sea inconfundible es un aspecto retorcido y esta va muy relacionada con la madurez alcanzada por la fibra
- c)Largo de la fibra. Esta cualidad va de 10 a 60 mm. y un diámetro de 18 a 20 micras. el algodón se presenta como una fibra aplastada en sus bordes con un canal al centro llamado lumen el cual cumple la función de llevar los nutrientes para un óptimo desarrollo como se muestra en la figura 1. cuando la fibra de algodón ya alcanzo su longitud total las capas de la celulosa se depositan en el exterior de la pared y tienen un crecimiento muy similar a un árbol con anillos de crecimiento al centro. Cada capa está compuesta por diminutas fibras, cuando estas fibras se van depositando van formando series de espirales los cuales cambian de dirección en varios puntos y

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

forman espirales invertidas llamados convoluciones o vueltas de falsa torsión , estos rizos le dan un apariencia de cinta ondulada lo que hace fácil su hilado. Cuando llega el momento de que el algodón expone las fibras esta se seca y colapsa.

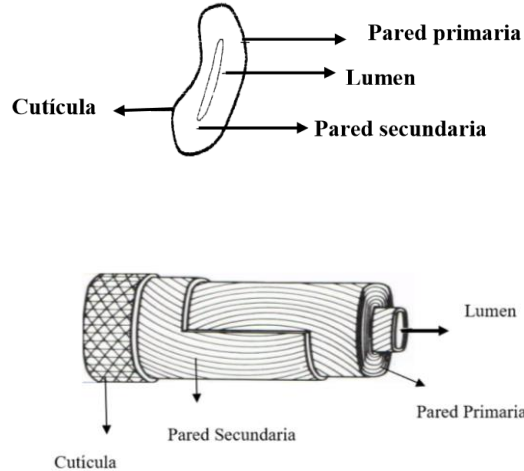


Figura 1. Sección transversal de la fibra de algodón

- d) Lustre.- El lustre del algodón es bajo pero puede modificarse con un tratamiento, como posee una estructura irregular esta rompe refleja la luz.
- e) Gravedad específica. El algodón posee un valor de 1.54 kg/m^3 lo que significa que es más pesado en relación con otras fibras como el nylon y el poliéster.
- f) Absorción de humedad.- El algodón es una fibra natural es altamente absorbente debido a la gran cantidad de grupos hidroxilos lo que hace que extraiga el agua y esto lo hace confortable en climas cálidos porque posee una retención de humedad de entre 7-8%. Entre las desventajas es que es de secado lento ya que la humedad debe ser evaporada de la fibra, pero esta propiedad hace que se tiña con mucha facilidad y esto influye en la confortabilidad de los productos fabricados con ella.
- g) Constitución y estructura química de la celulosa. La celulosa es un polímero de suma importancia, casi todas las fibras de reino vegetal como es el algodón, lino, yute, cáñamo, ramio etc.; entre el componente principal es la celulosa que va de un 80 a 85 %. (figura 2)

(Consultado en <https://es.slideshare.net/constantinamotta>)(Solé Cabanes, A. 2012)

La celulosa es un polisacárido ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

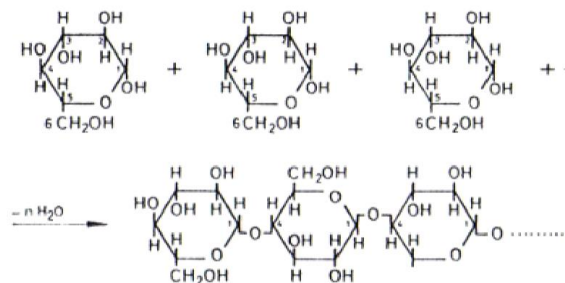


Figura 2. Formula química de la celulosa del algodón

II.2.4 Fabricación de la tela de algodón.

Para la fabricación de la tela de algodón existe una gran cantidad de procesos previos a la hilatura los cuales se describen a continuación.

La hilatura de algodón se describe como al conjunto de operaciones para transformar las fibras en hilos.

- Apertura y limpieza.

La apertura y limpieza son las primeras operaciones a las que se someterá durante su hilatura ya que las fibras se encuentran en fardos, en esta punto las fibras se encuentran muy comprimidas y mezcladas con una gran cantidad de impurezas como hojas, semillas, etc.

- Separadores de materias extrañas.

El propósito de este proceso es impedir que materias extrañas entren a la línea de producción evitando complicaciones en procesos siguientes.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

- Abridora batidora.

Cumple la función de tratar las fibras realizando una limpieza extensiva y su separación sin romperlas. El órgano batidor puede ser a base de aspas, guarnición, clavos o agujas.

- Cardado

Se lleva a cabo en la carda y cumple la función de separar y disgregar las fibras, mezclar las fibras, eliminar las impurezas que pueda tener las fibras, eliminar los neps y finalmente formar una cinta la cual servirá para alimentar las maquinas en procesos siguientes.

- Manuales

Cumple la función de regularizar la masa de las cintas de carda mediante su reunido y estirado, las fibras se paralelizan y se mezclan, lo que se consigue en este proceso es una alineación paralela de fibras provenientes de la operación del cardado y mejora la uniformidad en términos de masa lineal.

Las cintas se extraen de los botes de carda mediante rodillos de alimentación y después se produce el doblado y al tren de estiraje

- Estiraje

Este proceso se lleva a cabo utilizando un conjunto de rodillos denominado sistema o tren de estirado, la cinta emergente pasa por un embudo donde se reduce y compacta para poderla introducir en un bote a la salida de la maquina.

- Preparación para el peinado

Antes del peinado la materia prima se debe disponer en un formato adecuado.

Paso 1 reunidora de cintas consiste en transformar las cintas en una napa de modo que puedan utilizarse en la maquina siguiente.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Paso 2 reunidora de napas, las napas formadas se superponen para formar una única napa compacta para adquirir una mayor cohesión y homogeneidad.

- Peinado de algodón.

Se eliminan las fibras cortas y gruesas, también se eliminan los neps e impurezas y se aumenta el paralelismo de las fibras, si se requiere también se puede dar un segundo peinado para dar una mayor cohesión.

- Mechera

Su función es adelgazar la cinta de manuar para obtener una mecha torcida y estirada para el proceso de hilado.

- Hilado

El objetivo del hilado es transformar la mecha en un hilo dándole una determinada torsión y finalmente plegándolo en bobinas. (Solé Cabanes, A. 2012)

- Tisaje

Consiste en una serie de operaciones con el fin de convertir el hilo en un tejido para ello se utiliza un telar en el cual se colocan hilos en dos posiciones, urdimbre y trama, en la urdimbre los hilos ocupan un sentido longitudinal y la trama es el conjunto de hilos dejados por los viajes de la lanzadera ocupando el sentido transversal en el tejido, el tejido es una estructura laminar flexible al entrelazar o unir hilos (Sánchez Martin J. R. 2008)

II.2.5 Pretratamiento textil.

La industria encargada de transformar las fibras textiles en productos es la industria textil y esto se logra a través de una serie de procedimientos que comprenden desde el origen, se transforman en hilados, telas o en otros productos, el conocer sus alcances o limitaciones ayudará a seleccionar mejor las prendas. (Salas E., 2013)

Prácticamente hasta el siglo XIX las fibras empleadas eran fibras naturales las cuales proceden de los reinos vegetal y animal. (Salas E., 2013)

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Los procesos de acabado que se le realizan a un textil ya sea desde la fibra o bien en el tejido son diversos y esto se le da con la finalidad de preparar el textil para la confección.

II.2.5.A. Desengomado por oxidación.

Las gomas son macromoléculas, estas forman una sustancia que unen las fibras, las cuales pueden ser divididas en dos tipos: agentes de engomado naturales, los cuales incluyen almidón nativo y degradado, y los derivados del almidón, derivados de la celulosa y proteínas; y engomados sintéticos los cuales incluyen alcoholes polivinilos, poliacrilatos y estireno - copolímeros del ácido maleico. Agentes de engomado basados en almidón, son los más utilizados para los hilos de algodón por ser económicos, y capaces de dar una capacidad de tejido satisfactoria (www.manual-spanish.pdf)

En el desengomado por oxidante, el poder oxidante del persulfato de amonio rompe las moléculas del almidón volviéndolas solubles.

El proceso de desengomado se realiza impregnando en frío, lavando y secando y así se va el color crudo.

Se puede trabajar en caliente lo que acelera el proceso pero solo si la tela viene libre de residuos de hierro.

En algunas procedencias se encuentran partículas de óxidos de hierro provenientes de la maquinas recolectoras y desmotadoras. Estos compuestos son muy perjudiciales en el blanqueo. (Cegarra, J. 1997)

II.2.5.B. Descrude.

Es el proceso mediante el cual se eliminan las impurezas naturales de la fibra como son grasas ya sean naturales o adicionadas en el proceso de hilatura. El proceso de desengome se realiza por una concentración de humectantes y sosa caústica. Al término de este proceso se necesita neutralizarla ya que en la mayoría de los casos la materia queda ligeramente acidificada, lo cual justifica el lavado final para dejar la fibra apta para los procedimientos de blanqueo, tintura o estampación (Cegarra, J. 1997)

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.2.5.C. Blanqueo.

El blanqueo es el proceso en el cual se elimina el color natural de la fibra obteniendo así un tejido blanco. Para este proceso se suelen utilizar oxidantes que reaccionan con las fibras para obtener un tejido mas blanco. (<http://www.sarex.com/textile/wp-content/uploads/2015/10/manual-spanish.pdf>)

II.2.6 Principales usos de la tela de algodón.

Debido a que el cultivo de algodón se ha extendido por todo el planeta se estima que el consumo aproximado es del 41.5% del total de consumo de fibras en el mundo y esto se debe a todas las propiedades que este posee. Solo por mencionar algunas, tiene una excelente absorción, no irrita la piel y es transpirable.

Con el algodón se produce una gran cantidad de productos que van desde el área médica para producir artículos desechables como gasas, vendas, ropa hospitalaria, filtros de aire, artículos para el hogar como son el caso de tapicería, mantelería, toallas, ropa de cama, productos para la limpieza, artesanías, telas para exterior, toldos, carpas, lonas y por su puesto prendas de vestir tanto interiores como exteriores.

El algodón con ayuda de otras fibras también ha incursionado en el sector de la construcción como son el caso de los geotextiles (Observatorio de Corporaciones Transnacionales. 2005)

II.3 Nanotextiles con propiedades de protección ultravioleta.

Recientemente se ha puesto de manifiesto una constante preocupación por proteger a la piel de los daños de los rayos del Sol. Es por ello que los textiles juegan un papel importante debido a que todo el tiempo estamos cubiertos por una prenda o una tela, y si a estos textiles se les proporciona una aplicación como lo es la protección de rayos UV, con la ayuda de la nanotecnología, entonces se obtendrán los nuevos nanotextiles funcionales haciendo una vida más simple. (Riva, A. *et al* 2007)

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

A continuación se describe una breve historia del Sol, el hombre y los diferentes tipos de rayos que llegan directa o indirectamente a la Tierra y de cómo afectan las radiaciones solares a la piel.

II.3.1 El Sol y el Hombre: breve historia.

Desde la antigüedad al Sol y a la luz se les consideraban como seres divinos, fundadores y preservadores de vida, pero a lo largo de la historia también han sido conocidos sus efectos adversos principalmente en la piel. Desde entonces, diferentes civilizaciones han utilizado ungüentos con el fin de protegerla. Por ejemplo:

- En la antigua Grecia se ocupaba la helioterapia como aliado para diferentes enfermedades
- Los egipcios en el año 2000 a.C. ocupaban ungüentos, perfumes y aceites para poder protegerla del Sol
- La edad medieval no aportó nada nuevo a los cuidados del Sol debido a que una piel blanca era símbolo de estatus.
- A finales del siglo XV hubo un cambio pero no fue muy favorable debido a que si en la piel no aparecía un eritema se consideraba al tratamiento un fracaso
- La edad de las luces con la doctrina de Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) tampoco fue importante ya que se empezó con el primer movimiento naturista basado en el poder sanador de la luz, aire y agua.
- Desde mediados del siglo XIX se establecieron sanatorios donde se combinaba la terapia con agua tradicional y el tratamiento dietético, con la helioterapia y el nudismo.
- En la Revolución Industrial el bronceado era considerado como un símbolo de estatus.
- En los años 40's el bronceado fue considerado un símbolo de moda promovido por Coco Chanel.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

El tratamiento de la helioterapia ha arrojado resultados acerca de los daños que Sol causa a la piel, el bronceado ha cobrado popularidad por diferentes factores, debido a un desmedido crecimiento en los índices de cáncer de piel y el agotamiento del ozono estratosférico que se viene observando desde 1970 (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2005), se ha intentado invertir su popularidad a pesar de conocer los riesgos de la sobreexposición al Sol ya que la población en general desea tener una piel bronceada ya que da un aspecto más saludable y atractivo.

El ser humano posee barreras naturales para protegerse del Sol entre ellas son las pilosidad, carotenoides, capa córnea, sistema de reparación enzimática del ADN, pero sobre todo la barrera melanica es la gran fotoprotectora a través de los melanocitos, sobre todo la eumelanina. (Salmentón G.)

Existen diferentes actividades al aire libre ya sea por deporte o laborales donde personas están expuestas a muchas horas de Sol. Es verdad que cada vez se tiene una mayor conciencia de proteger la piel pero generalmente se piensa en protección cuando la piel no está cubierta por un textil, hablamos de los bloqueadores solares en crema pero cuantas veces nos ponemos a pensar en la protección que nos brindan las prendas de vestir en particular cuando se trata de tejidos muy ligeros los cuales no ofrecen una buena defensa. Las investigaciones en los nanotextiles son recientes y parecen ser la solución.

Existe la creencia de que solo es necesaria la protección de la piel en las zonas expuestas directamente al contacto con la radiación y que lo tejidos textiles protegen de esta pero esto no es así al existir muchos tejidos que por si mismos no son capaces de proteger de los efectos nocivos producidos por la exposición solar (Roldan A. 2010)

II.3.2. La radiación ultravioleta.

El efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel es un tema de creciente interés en la actualidad, debido sobre todo al aumento de casos de cáncer de piel que se ha producido en algunos países en el mundo. (Algadaba, I., Riva A. 2002). Aunque existen diferentes fuentes artificiales que emiten radiación ultravioleta, la fuente más importante de este tipo de radiación es el Sol. Su espectro en longitud de onda abarca de 280 a 3000 nm a nivel del mar. (Algaba Joaquín I.M., 2004).

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

La Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) clasifica la radiación ultravioleta en tres zonas, según su efectividad fotobiológica: UVA (315-400nm), UVB (280-315nm) y UVC (100-280 nm.). (CIE, 1993).

- La radiación UVC es absorbida por el oxígeno y el ozono si esta llegara al ser humano sería letal (Seidlitz, 2006)
- La radiación UVB es adsorbida parcialmente por el ozono (sólo llega un 5% a la superficie terrestre)
- La radiación UVA es poco absorbida por la capa de ozono ya que de la radiación emitida por el Sol llega un 95% a la superficie terrestre. (figura 3)

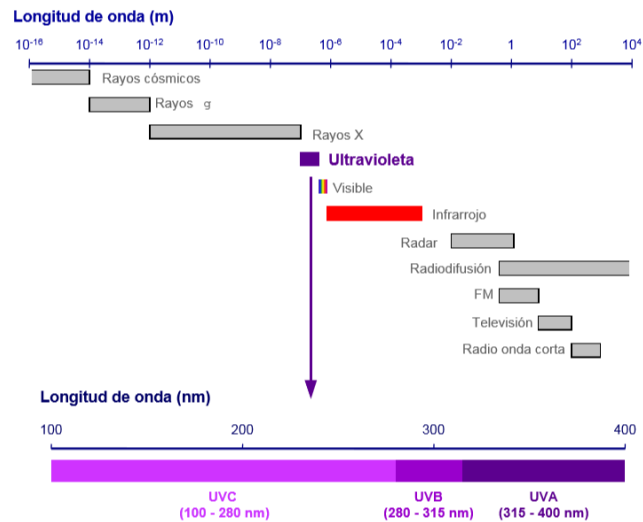


Figura 3. Espectro de radiación magnética y radiación ultravioleta.

Se ha demostrado que la radiación que llega a la Tierra es mayor que hace años lo que significa que en las mismas horas nuestra piel recibe más radiación y si a esto le aumentamos el adelgazamiento de la capa de ozono el cual es muy absorbente de la radiación sobretodo en la zona de los UVB.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.3.3 Penetración de la radiación ultravioleta en la piel.

La sobreexposición a la radiación ultravioleta como ya se mencionó da origen al cáncer de piel y este tipo de cáncer ha ido en aumento. (figura 4) Es difícil determinarlo, pero los expertos estiman que el incremento de los melanomas malignos coincidió con la moda del bronceado. Este efecto no es inmediato y no todas las personas lo padecen pero las estadísticas señalan que la mayor incidencia es en personas de piel clara y este daño es acumulativo a lo largo de los años y puede llegarse a un punto en que pequeñas cantidades produzcan daños irreversibles por eso es de suma importancia la protección en todo momento.

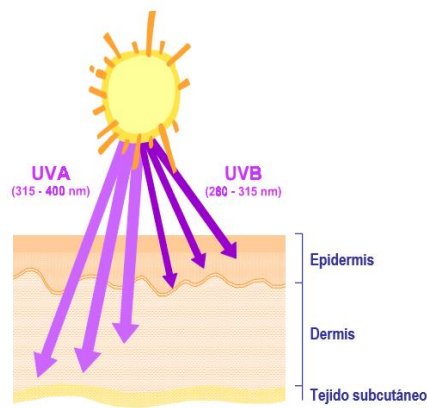


Figura 4. Penetración de los rayos UVA y UVB a las capas de la piel.

Si hablamos de cifras, por ejemplo, los australianos de origen británico tienen el índice más alto en cáncer de piel. Tan solo en esta región alcanzan el 50% del total de casos, el color de piel tiene una importante influencia en desarrollar éste.

Los dermatólogos aconsejan el uso de cremas solares, sombreros y entre la serie de medidas para la protección, la Organización Mundial de la Salud recomienda el uso de prendas con factor de protección elevado pero aquí surge la pregunta si todos los tejidos protegen adecuadamente porque a pesar de que hace años se viene hablando de la protección a los rayos ultravioleta no existe un conocimiento adecuado. Tampoco hay mucha gente en la industria textil que comprenda todos los detalles de protección ya que en

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Australia se realizó una prueba que comprendía 250 prendas de vestir para Verano, las cuales alcanzaron una protección menor a una crema con factor de protección 15.

II.3.4. Factor de protección a la radiación ultravioleta de artículos textiles.

El grado de protección que un elemento proporciona, frente a los efectos adversos de la luz solar, se define como Factor de Protección Solar (FPS). Es la razón entre el tiempo umbral para causar un eritema cuando está presente un elemento de protección y el tiempo umbral para causar el mismo efecto cuando no hay ningún tipo de protección.

El FPS se puede determinar mediante técnicas *in vivo* o *in vitro*. El método *in vivo* requiere un número considerable de personas que se sometan a un test, la técnica *in vitro* se basa en la medida de la transmisión de la radiación ultravioleta a través del tejido y éste se cuantifica mediante un espectrofotómetro debidamente adaptado (Algaba, I., Riva A. 2002)(González Cifuentes, J. 2017)

Cuando un rayo de luz incide sobre una muestra textil, una parte de la radiación es reflejada, otra parte es absorbida por el material y el resto lo atraviesa y se transmite. (Karimi, L. *et al* 2010)

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.3.5 Transmitancia espectral.

La transmitancia espectral directa y difusa puede medirse mediante el uso de un espectrofotómetro, que proporciona una fuente de luz ultravioleta, al que se le adapta una esfera integradora, después de la muestra, que recoge la luz difundida en todos los ángulos y la dirige a los fotodetectores. (figura 5) También ha aparecido recientemente en el mercado un nuevo instrumento específicamente diseñados para la medida de la transmitancia espectral difusa, denominado Analizador de Transmitancia Ultravioleta. (García Sorroche J. A. 2005) (Algaba Joaquín, I.M. 2004)

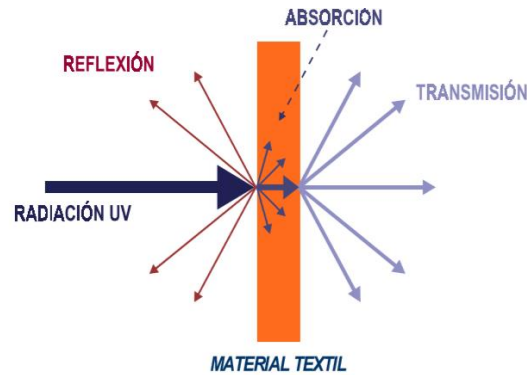


Figura 5. Esquema de transmitancia espectral a un textil.

La influencia del tipo de fibra es más importante cuando se trata de tejidos blancos o no teñidos estos tejidos dan valores bajos de FPS. Un tejido de idéntica estructura pero elaborado con algodón crudo daría FPS más altos debido a los pigmentos, ligninas, etc.. Los tejidos ligeros de algodón blanco, para prendas de Verano, ofrecen FPS bajos, y su efecto protector frecuentemente es menor que el de una crema con FPS de 15. Sin embargo, esta fibra es la que ofrece el mayor confort en su uso y la más popular para prendas ligeras de Verano. El parámetro estructural fundamental para la protección que proporcione un tejido es su porosidad, los tejidos planos son los que suelen tener mayor protección que los de punto. Cuando menor sea la transmisión de radiación ultravioleta mayor será la protección.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.3.6. Clasificación factor de protección solar y etiquetado de las prendas protectoras.

Algunas de las normas relacionadas con la protección a la radiación ultravioleta proporcionada por los artículos textiles que han ido apareciendo durante los últimos años establecen un sistema de clasificación de los tejidos en función de sus propiedades protectoras del Sol (FPS) (Algaba Joaquín I.M., 2004), en la tabla 1, se presenta la clasificación.

Tabla 1. Medida de factor de protección solar.

Rango UPF de la muestra	Categoría de protección UVR	Transmisión UVR efectiva (%)	Índice UPF
15 a 24	Buena protección	6,7 a 4,2	15, 20
25 a 39	Muy buena protección	4,1 a 2,6	25, 30, 35
40 a 50, 50+	Protección excelente	≤ 2,5	40, 45, 50, 50+

II.4. Nanotextiles con Propiedades Superhidrofóbicas.

Los textiles con propiedades de funcionalidad superhidrofóbicas se basan en el *efecto del loto*, también llamado *efecto lotus antiadherente*, descubierto en los años setenta a partir de la observación microscópica de las propiedades hidrofóbicas naturales de las hojas de la flor de loto. A mediados de los años noventa Wilhelm Barthlott desarrolló y patentó el principio registrado como el “efecto loto” gracias al uso de la nanotecnología, base fundamental en la que se basan las superficies con características hidrofóbicas.

A diferencia de la hidrofobicidad que es una propiedad química, la superhidrofobia es una propiedad fundamentalmente física. De acuerdo con las investigaciones de Julius Marmur en el campo de la biología molecular, hay dos principios básicos en los que se basa la superhidrofobicidad: el primero de ellos es generar un ángulo de contacto de la gota de agua con la superficie, y el segundo principio es conseguir que ese ángulo tenga la mayor inclinación posible para alejar la gota lo máximo posible de la superficie. De modo que si el ángulo de contacto oscila entre 90° y 150°, obtenemos propiedades hidrofóbicas que repelen el agua. En cambio, con un ángulo de contacto superior a 150 grados, a escala

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

nanométrica, se amplifica el efecto de la tensión superficial del agua y hace que se convierta en una superficie imposible de mojar, obteniendo así características superhidrofóbicas.

Dado que los textiles superhidrofóbicos se vuelven más resistentes e higiénicos, se evita la adherencia de la grasa, incrementando la durabilidad del textil. Además, como el textil es imposible de mojar, se evita también las condensaciones de agua en la superficie y la formación de hielo en climas extremos. Por si fuera poco, también sus características reducen la fricción del agua sobre la superficie, aportando importantes mejoras en el campo de la hidrodinámica. (Carrillo, N. 2006)

Otro ejemplo ilustrativo de las aplicaciones de los textiles superhidrofóbicos es que dada su repelencia al agua son aislantes perfectos para prevenir daños en sistemas electrónicos que se han empezado a incorporar a los textiles. Además, suelen ser inmunes a la suciedad, ya que evitan la adherencia de cualquier molécula de polvo, suciedad o líquido hidrofílicos. (Fernández Cañete A. 2013).

II.4.1. Ángulo de contacto.

El ángulo de contacto es una manera de poder cuantificar las propiedades de hidrofobicidad. Representa un sistema termodinámico heterogéneo formado por tres fases: vapor, sólida y líquida (figura 6). Para una superficie lisa, homogénea, no porosa, rígida y químicamente inerte, la ecuación de Young proporciona información de las propiedades de superhidrofobicidad respecto a la interacción líquido-sólido. El ángulo formado entre la tangente que pasa por el punto que une a las 3 fases sólido-líquido-gas se denomina ángulo de contacto, y es la magnitud física para cuantificar experimentalmente la propiedad superhidrofóbica de los textiles. La ecuación de Young define el ángulo de contacto como el equilibrio mecánico de las componentes tangenciales de los tensores superficiales que actúan en la línea de contacto entre las tres fases (ecuación 1) y se expresa como:

$$\cos \theta_Y = \frac{(\gamma_{SG} - \gamma_{SL})}{\gamma_{LG}} \quad \text{Ec.1}$$

Donde γ_{SG} , γ_{SL} y γ_{LG} son las tensiones superficiales de las interfaces sólido-gas, sólido-líquido y líquido-gas, respectivamente. θ_Y es el ángulo de contacto de Young.

Esta ecuación establece que el ángulo de contacto sólo depende de las propiedades físico-químicas de las tres fases. Desde el punto de vista termodinámico, θ_Y es el ángulo de contacto asociado al estado de menor energía libre sobre una superficie ideal. De acuerdo a la ecuación de Young, mayores ángulos de contacto se pueden generar con valores bajos de γ_{SG} , por ejemplo, utilizando materiales con la más baja energía superficial posible. Como una referencia, algunas superficies que contienen grupos funcionales de $-\text{CH}_2$, $-\text{CH}_3$, $-\text{CF}_2\text{H}$ y $-\text{CF}_3$ (Genzer, Efimenko 2006) presentan muy bajos valores de energía superficial (aproximadamente 6.7 mJ/m^2).

A pesar de la simple forma de esta ecuación y de la relativa simplicidad de las mediciones del ángulo de contacto, su validez se limita a superficies ideales.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.



Figura 6. Representación esquemática del ángulo de contacto.

Los tres parámetros más importantes que controlan el comportamiento de la superhidrofobicidad textil son la rugosidad superficial, las contribuciones de áreas relativas de las distintas fracciones químicas presentes en la superficie y sus respectivas energías superficiales. Las superficies textiles presentan defectos superficiales y a menudo son químicamente heterogéneas. La superhidrofobicidad de una superficie rugosa y químicamente homogénea por un líquido determinado, se caracterizará con un único θ_Y , mientras que para una superficie químicamente heterogénea, vendrá definida por varios θ_Y asociados a la heterogeneidad química presente. La heterogeneidad química de la superficie y su rugosidad generan los fenómenos denominados multiplicidad del ángulo de contacto.

Conforme aumenta la rugosidad de una superficie, se observan dos regímenes teóricos bien diferenciados. El régimen de Wenzel o régimen homogéneo describe el ángulo de contacto cuando el líquido moja totalmente la superficie rugosa. El líquido penetra por completo en la superficie rugosa, no atrapándose aire entre la rugosidad de la superficie y el líquido. El régimen de Cassie-Baxter o régimen heterogéneo tiene lugar cuando el aire está presente entre los defectos superficiales y el líquido (M. Shateri-Khalilabad, 2013). La superhidrofobicidad se alcanzaría cuando la gota de agua tuviera un ángulo de contacto con la superficie superior a 150° . (Song J., Rojas O. J 2013)

II.5. Métodos de preparación de las nanopartículas metálicas.

Las nanopartículas metálicas pueden obtenerse principalmente por dos métodos (figura 7): (a) el método físico (top-down), consiste en la subdivisión mecánica del metal y (b) el método químico (bottom-up), que consiste en la nucleación y el crecimiento de las partículas a partir de los átomos metálicos. El método químico ofrece ventajas en cuanto al control del tamaño y reproducibilidad. A continuación, se presentan el método químico para la preparación de nanopartículas utilizando la química coloidal. (Gómez Villagrana F.)

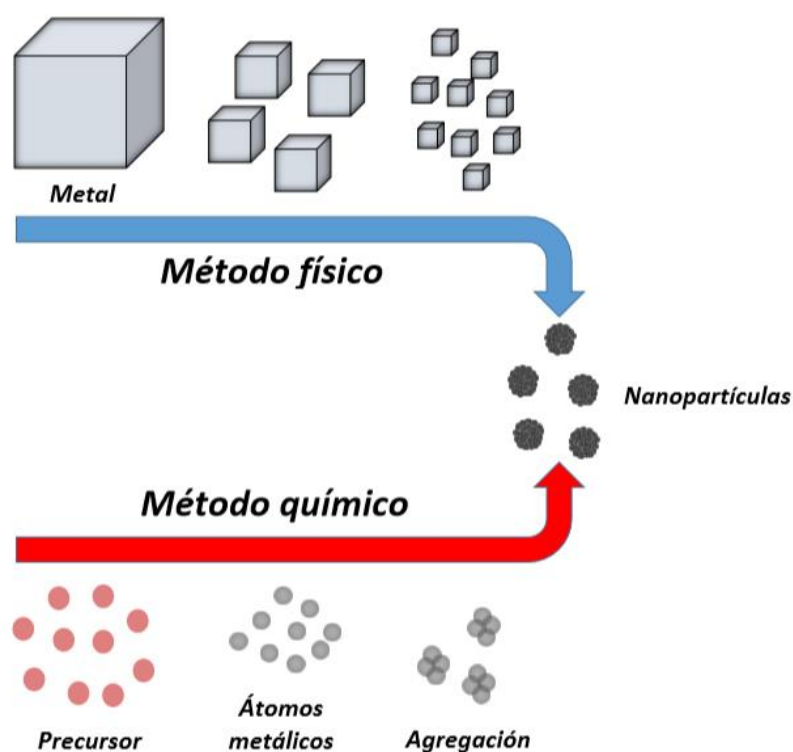


Figura 7. Método de síntesis de nanopartículas metálicas.

Para preparar nanopartículas metálicas utilizando el método de química coloidal, soluciones iónicas de sales metálicas son comúnmente utilizadas como precursores atómicos que son subsecuentemente agregados para formar las nanopartículas. Diferentes agentes reductores pueden ser empleados para reducir los iones metálicos; por ejemplo, formaldehídos, alcoholes, monóxido de carbono, hidracina, borohidruro de sodio, citrato de sodio, ácido ascórbico, entre otros. Dependiendo de las características reductoras, se

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

pueden tener nanopartículas pequeñas y monodispersas como es con la utilización del borohidruro de sodio. Dentro de los beneficios de la síntesis química están la reproducibilidad, la disponibilidad de reactivos y los bajos costos de preparación (Viudez, 2011).

II.6. Técnicas de Caracterización de Nanotextiles.

Las técnicas de caracterización son una parte esencial para el estudio de los nanotextiles ya que con cada técnica se obtiene información importante como es la composición, estructura cristalina, tamaño y forma de las nanopartículas.

Conocer o predecir las propiedades de las nanopartículas es de gran trascendencia para valorar su utilidad en diversas aplicaciones. En este trabajo de tesis, para cuantificar las propiedades ópticas, estructurales de las nanopartículas de Ag, así como para predecir las propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación UV del nanotextil desarrollado, se emplearon las técnicas de espectroscopia UV-Vis, microscopia electrónica de barrido (*SEM*), espectroscopia de energía dispersa (*EDS*), difracción de rayos X, espectroscopia de transmitancia UV y medición del ángulo de contacto.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.6.1 Espectroscopía UV-VIS.

La espectroscopia UV-Vis es un método físico que se emplea para el análisis cuantitativo y cualitativo en la determinación de estructuras metálicas nanométricas. La región espectral correspondiente al ultravioleta visible que va desde longitud de onda entre 10 y 200 nm, UV cercano entre 200 y 400 nm, y visible entre 400 y 800 nm, (figura 8) del espectro electromagnético.

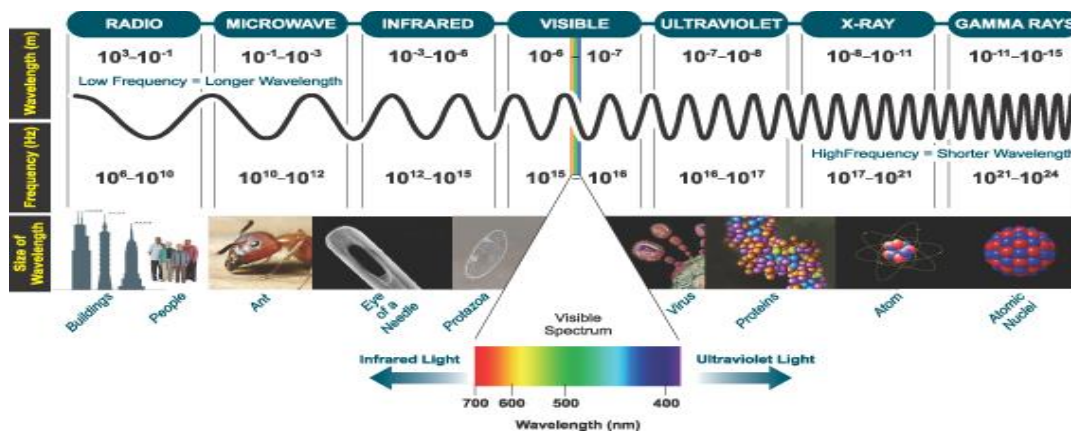


Figura 8. Espectro electromagnético.

La espectroscopia UV-Vis brinda información sobre las transiciones electrónicas de las partículas metálicas. Las energías asociadas con las transiciones electrónicas son muy altas, mayores incluso que la energía necesaria para producir la disociación de algunas moléculas. Este tipo de espectroscopía involucra la absorción de luz por las nanopartículas metálicas (NPs) causando la resonancia del plasmón superficial a una frecuencia específica. Del rango total de longitudes de onda que se proporcionan a las nanopartículas, solo se absorben aquellas que producen una excitación colectiva de electrones. Posteriormente la nanopartícula regresa a su estado inicial de energía (Aguilar, 2009).

II.6.2. Resonancia de plasmón superficial localizado.

En el caso particular de las nanopartículas metálicas de Ag, la interacción de la radiación electromagnética (luz) se observa con el fenómeno de Resonancia de Plasmón de Superficie (RPS, ver figura 9), el cual consiste en asociar con un fenómeno de excitación coherente y colectiva de los electrones libres (Gas de Electrones Libres) en la banda de conducción, produciéndose una oscilación en fase o resonante, este fenómeno ocurre, porque una fracción de la luz incidente en un ángulo definido puede interactuar con los electrones libres (Plasmón: es la oscilación colectiva de los electrones de la banda de conducción de un metal), dicha interacción reduce la intensidad de la luz reflejada, esto da origen a un intenso y sensible espectro de absorción en la región ultravioleta-visible (~410 para las nanopartículas de Ag) (González, 2010). La intensidad y posición de la radiación absorbida depende de las propiedades de tamaño, composición, forma, distribución de tamaño, aglomeración y del medio circundante de las nanopartículas (Aguilar, 2009).

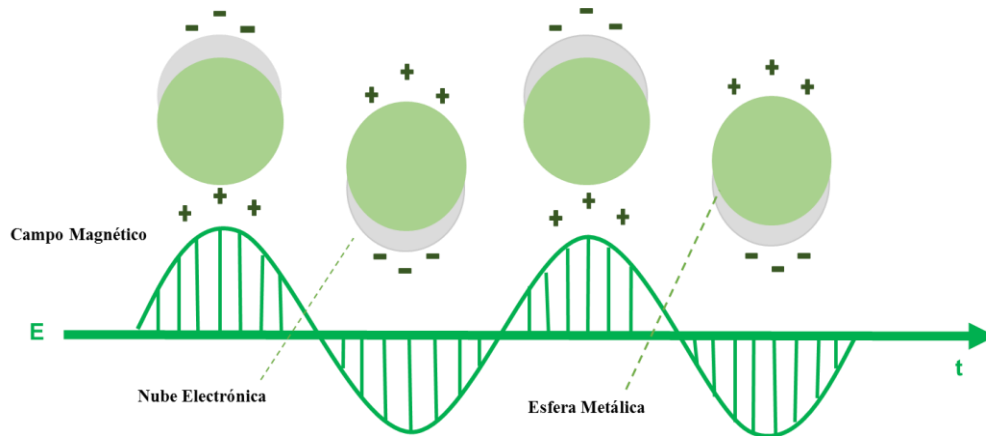


Figura 9. Oscilación electromagnética de nanopartículas metálicas.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.6.3. Microscopía electrónica de transmisión.

La microscopía electrónica de transmisión (Transmission Electron Microscopy, TEM) con ayuda de los microscopios electrónicos de transmisión es posible la obtención de imágenes de estructuras biológicas y no biológicas con estructuras a niveles nanométricos incluso sub-nanométricas. Conociste en atravesar un haz de electrones y estos son difractados los cuales pasar a través de una muestra y estos generan un difractograma que es transformado en imagen mediante lentes magnéticas que es la proyección de la estructura cristalina a lo largo de la dirección de los electrones.

Con un buen microscopio electrónico es posible la obtención de la composición estructural química y elemental de la muestra (ver figura 10), (Sorrivas de Lozano E. et al 2014)



Figura 10. Esquema de un TEM.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

II.6.4. Microscopia electrónica de barrido.

El microscopio electrónico de barrido (*Scanning Electron Microscopy, SEM*) es un tipo de microscopio electrónico con la capacidad para producir imágenes de alta resolución de la superficie de una muestra. Debido a la manera en la que la imagen es creada, las imágenes *SEM* tienen una apariencia tridimensional que las caracteriza y son útiles para juzgar la estructura superficial de una muestra. Por otro lado, la resolución que puede alcanzar un microscopio óptico está limitada por la longitud de onda de la luz, en tanto el fundamento de la resolución del microscopio electrónico se apoya en las propiedades ondulatorias del electrón, haciendo uso de un haz de electrones de alta energía y longitud de onda inferior a la de la luz, lo que permite incrementar la resolución.

Todos los microscopios electrónicos disponen de un cañón de electrones y una serie de lentes magnéticas que crean campos que dirigen y enfocan el haz de electrones hacia la muestra. Una parte esencial de un microscopio electrónico la constituye el sistema de vacío, pues los electrones pueden ser desviados por las moléculas de aire, requiriéndose para evitar esto un vacío casi total en el interior del microscopio.

Esta técnica no solo permite analizar la morfología de un material, sino que también permite obtener datos sobre la composición química del material a través de la espectroscopia de energía dispersiva. (Renau Piqueras J., Faura M. 1994)

II.6.5. Espectroscopia de energía dispersiva.

El análisis por Espectroscopia de Energía Dispersiva (*EDS*) es un procedimiento estándar para identificar y cuantificar la composición elemental de áreas de muestra hasta de tamaño tan pequeño como de algunos micrómetros cúbicos. El material de muestra es bombardeado con electrones *SEM* y los rayos X producidos por la muestra son medidos con un espectroscopio de rayos X. Cada elemento tiene una longitud de onda característico de rayos X y puede ser identificado para caracterizar cualitativamente y cuantitativamente a las nanopartículas metálicas (Díaz Barriga Castro E. 2014).

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

CAPITULO III

PREPARACIÓN DE NANOTEXTILES FUNCIONALES DE ALGODÓN/Ag



Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

III. Preparación de nanotextiles funcionales de algodón/Ag.

En los últimos años, la necesidad de protegerse de los factores ambientales, ha aumentado el requerimiento de preparar materiales nanotextiles funcionales que cumpla otras tareas específicas que con los textiles tradicionales no es posible. Es por ello que cada vez se le está aplicando más tecnología a la industria textil para generar un mercado más amplio para aplicaciones específicas.

III.1 Materiales utilizados.

Los materiales químicos utilizados para la preparación de los materiales nanotextiles fueron los siguientes; Tela cruda 100 % algodón, Hidróxido de sodio (NaOH, al 99.0%), peróxido de hidrógeno (H₂O₂, al 99.0%), silicato de sodio (Na₂O₃Si), carbonato de Sodio (Na₂CO₃), abrillantador, nitrato de plata (AgNO₃, al 99.0%), ácido ascórbico (C₆H₈O₆, al 99.0%), borohidruro de sodio (NaBH₄, al 99.0%), citrato de sodio (Na₃C₆H₅O₇), hidróxido de potasio (KOH, al 85%), etanol (C₂H₅OH), n-hexadeciltrimetoxisilano (HDTMS, al 85%), y ácido acético glacial (CH₃COOH, al 99.7%), todos adquiridos de Sigma Aldrich, jabón neutro (Extran MA O₂, Merck) y agua desionizada fueron utilizado para el lavado de todo el equipo de laboratorio.

III.2.Descrude y blanqueo de la tela de algodón.

La tela adquirida comercialmente fue primeramente acondicionada a través de un proceso de descrude para eliminar las impurezas como son la cera, pectina y alcoholes, así como las impurezas provenientes de su procesamiento tales como el material desengomado, la suciedad y el aceite.

Para el proceso de descrude del textil se utilizo una solución caliente entre 80-90 °C de NaOH caustica y humectantes. Esto con la finalidad de humectar la fibra y eliminar

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

diversos tipos de impurezas que se adquieren en el proceso de hilado. En la figura 11, se presenta la curva del proceso de descruce utilizado. Posteriormente la tela fue sometida a un proceso de lavado varias veces a temperatura ambiente, presentando buenas propiedades de hidrofiliidad.

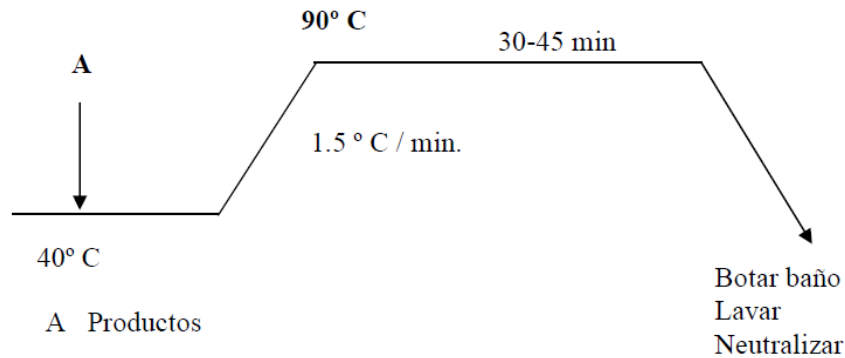


Figura 11. Curva de descruce de la tela de algodón.

Para el blanqueo de la tela de algodón se utilizaron productos químicos que por reacción química liberen oxígeno. El peróxido de hidrógeno fue el elemento químico utilizado para esta tarea. El textil fue sumergido en una solución conteniendo H_2O_2 (2 gr/lit) por un tiempo de 30 minutos a temperatura de 80 – 90 °C como se muestra en la figura 12.

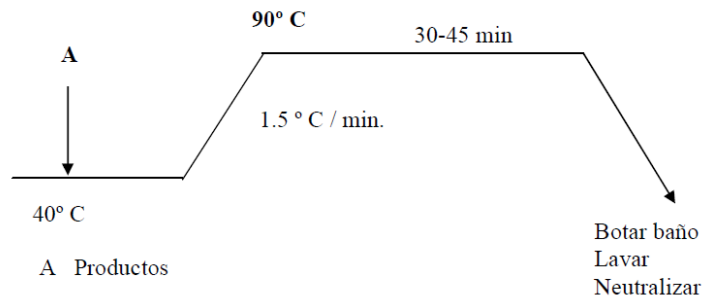


Figura 12. Curva de blanqueo de la tela de algodón.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

La tela de algodón fue final mente lavada varias veces como se muestra en la figura 13. En el proceso de lavado de material textil se agregaron cinco muestras con dimensiones de 3x3 cm cada una con un peso de 0.117 g. Se lavaron en una solución de agua con jabón neutro a 110 revoluciones por minuto (rpm) durante 5 minutos a 65°C de temperatura, al término de este proceso se enjuagaron 5 veces con agua desionizada para eliminar restos de jabón, posteriormente se enjuagaron con alcohol etílico para eliminar cualquier resto de impurezas y finalmente se secaron en una mufla a 90°C por 30 min.



a)



b)



c)



d)

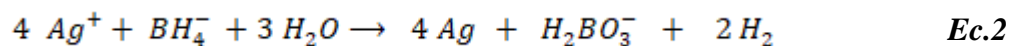
Figura 13. Limpieza del material textil: a) Lavado del material textil con jabón neutro, b) Enjuague con agua desionizada, c) Tratamiento con alcohol etílico, d) Secado del material textil.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

III.3. Síntesis y caracterización de dispersiones coloidales de nanopartículas de plata.

La preparación de la dispersión coloidal de nanopartículas monometálicas de Ag fue realizada por el método de reducción química, el cual ha mostrado ser un método de bajo costo y no sofisticado, puesto que no necesita de equipos de alto vacío o de algún otro aditamento. El arreglo experimental se muestra en la figura 14, éste consiste de una parrilla de agitación conteniendo un regulador que controla la velocidad de agitación. Un matraz de vidrio esférico de 250 ml fue utilizado como reactor. El reactor y los accesorios de laboratorio fueron limpiados tenazmente antes de ser utilizados.

Se utilizó al NaBH_4 como agente reductor de los iones metálicos y al citrato de sodio como agente estabilizador. La síntesis fue realizada a temperatura ambiente. Primero se preparó una solución de AgNO_3 (0.033 mmol. en 25 ml. de H_2O) disolviendo los correspondientes cristales en agua bajo a agitación vigorosa. Una solución de citrato de sodio (6 ml. de 0.066 mmol.) fue inmediatamente adicionada y el resultante fue puesto en agitación por 5 minutos, posteriormente se añadió una solución de NaBH_4 (6 ml. de 0.066 mmol.) para reducir los iones metálicos a través de la siguiente reacción: (ecuación 2)



La solución tornó a un color oscuro degradándose finalmente a amarillo intenso. La solución coloidal así obtenida fue estable por más de 3 meses.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

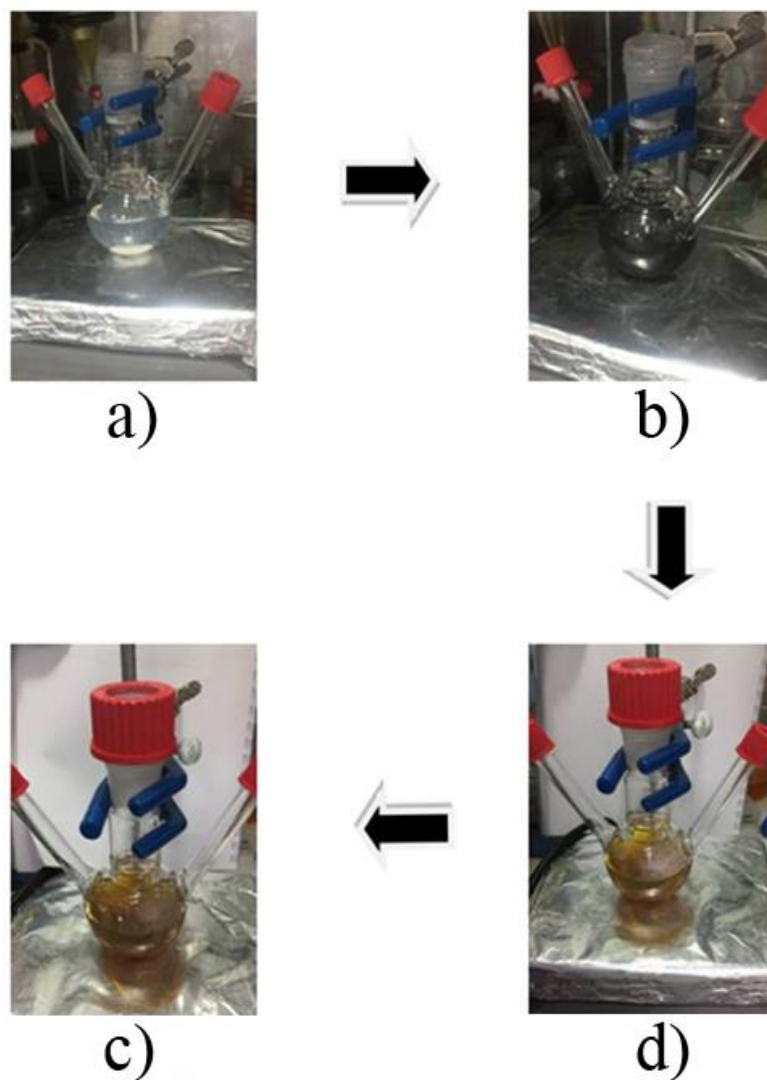


Figura 14. Imágenes de las diferentes etapas de la síntesis de las dispersiones coloidales de nanopartículas de Ag. a) Nitrato de plata hidrolizado, b) Nitrato de plata (AgNO_3), Borohidruro de sodio (NaBH_4), Citrato de sodio, c) solución a 30 minutos de agitación, d) solución a 60 minutos de agitación.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Para determinar la formación, el tamaño y forma de las partículas de plata, se realizaron medidas de absorción y microscopía TEM. En la figura 15 presenta el espectro de absorción de la dispersión coloidal de nanopartículas de plata obtenida. Un máximo de absorción a 412 nm. Fue observado producto de la resonancia del plasmón superficial localizado (RPSL) de la presencia de las partículas de plata de escala nanométrica.

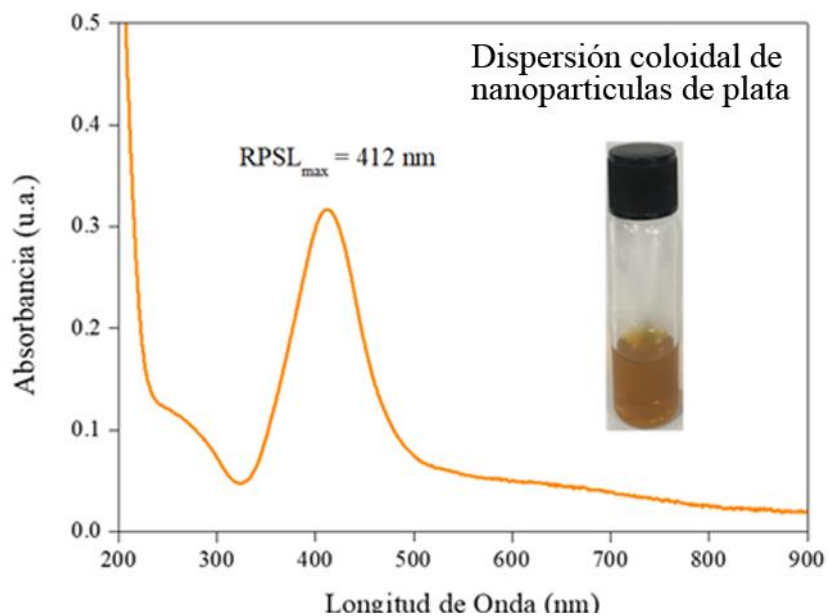


Figura 15. Espectro de absorción de dispersión coloidal de nanopartículas de plata.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Para determinar directamente el tamaño y forma de las partículas de plata, se realizaron medidas de TEM. Una típica micrografía de estas partículas es desplegada en la figura 16 a. Partículas esféricas con tamaños en la escala nanométrica son principalmente observadas. Un histograma de la distribución de tamaño, fue obtenido (figura 16 b) del análisis de la micrografía TEM para cuantificar el tamaño de las nanopartículas. El ajuste gaussiano de la distribución del tamaño revela un tamaño promedio de partícula de 16.3nm con una desviación estándar de 3.1 nm (19.01 %) indicando que las nanopartículas obtenidas son homogéneas.

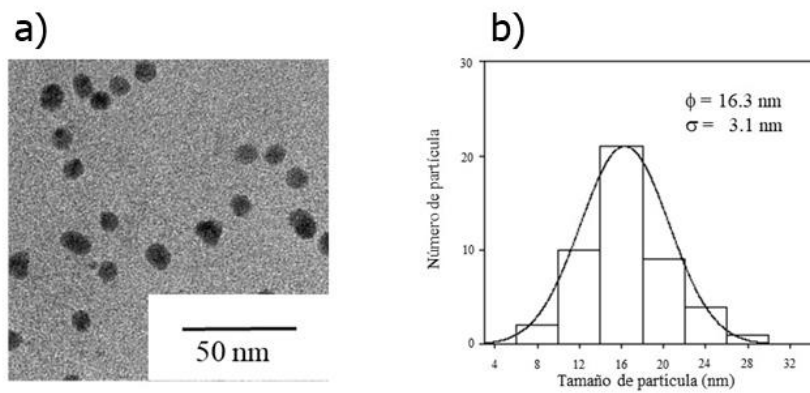


Figura 16. A) Micrografía TEM b) histograma de la distribución de tamaño de partículas de Ag. El tamaño promedio (ϕ) es calculado a partir del ajuste Gaussiano del histograma.

III.4. Preparación de nanotextiles de algodón con diferentes concentraciones de nanopartículas de plata.

Para prepara las muestras textiles conteniendo nanopartículas de plata, se utilizaron dispersiones coloidales de nanopartículas de plata con diferentes concentraciones. En la tabla 2, se resumen los valores de la concentración de nanopartículas de plata para cada una de las disoluciones realizadas. En la figura 17 se presenta una imagen de las soluciones coloidales de plata obtenidas. La intensidad del color corresponde a una mayor concentración de nanopartículas de plata. Los coloides fueron almacenados a temperatura ambiente para posterior uso.

Tabla 2. Concentraciones de nanopartículas disueltas en diferentes cantidades de agua.

Muestra	Solución coloidal de nanopartículas de Ag.(ml)	ml H ₂ O	Volumen total.(ml)
M1	10	0	10
M2	8	2	10
M3	6	4	10
M4	4	6	10

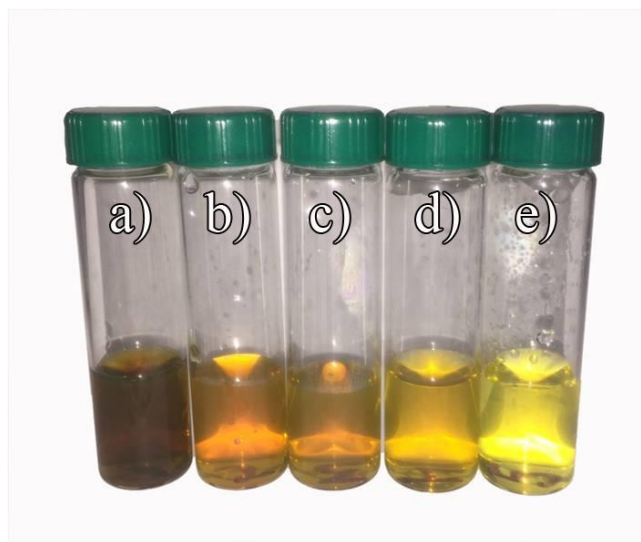


Figura 17. Solución coloidal de nanopartículas de plata a diferentes concentraciones a) M1, b) M2, c) M3, d) M4 y e) M5.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

La preparación de los nanotextiles de algodón con plata fue realizada por simple inmersión de la tela de algodón descrudada, blanqueada y lavada en cada solución coloidal por un tiempo de 30 minutos bajo agitación moderada a temperatura ambiente generando la adsorción física de las nanopartículas de plata en la superficie de la tela de algodón. En la figura 18, se presenta una imagen del proceso de inmersión de la tela de algodón en las dispersiones coloidales de nanopartículas de Ag a diferentes concentraciones.

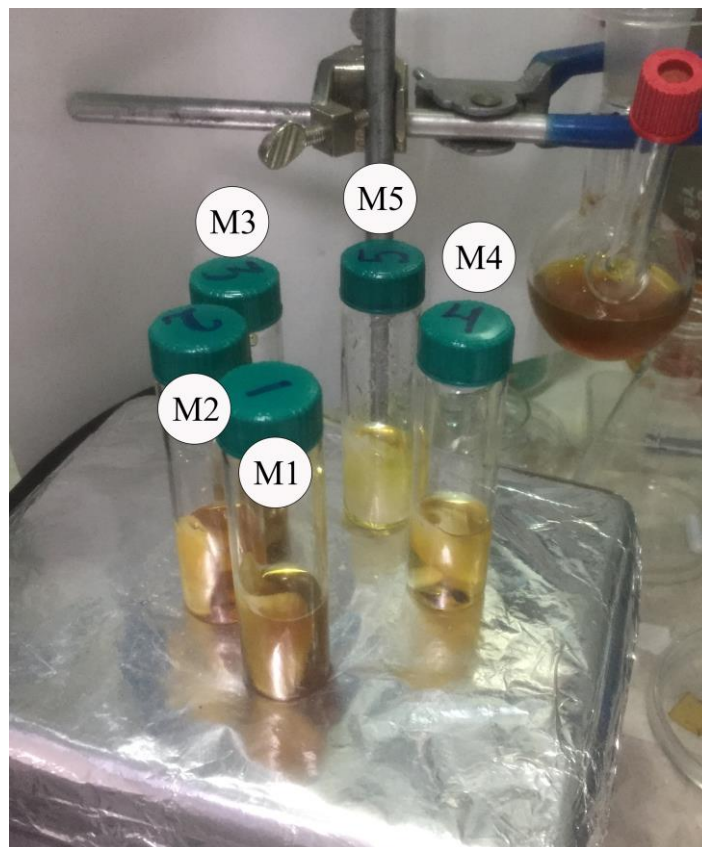


Figura 18. Imagen del proceso de inmersión de muestras textiles en soluciones coloidales de nanopartículas de plata a diferentes concentraciones.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Al término de la inmersión, las muestras fueron enjuagadas varias veces para eliminar el exceso de reactantes y sometidas inmediatamente a un tratamiento térmico a 90 °C por 30 minutos para mejorar la fuerza la adsorción de las nanopartículas.. En la figura 19, se muestra la imagen de las diferentes muestras de Textil/Ag obtenidas. Una coloración amarillenta de la tela de algodón fue observada en cada una de las muestras, el color de las muestras revela la presencia de las nanopartículas de plata sobre la tela de algodón. Una mayor intensidad del color amarillo es observada en las telas que fueron sumergidas en los coloides con mayor concentración de nanopartículas de plata.

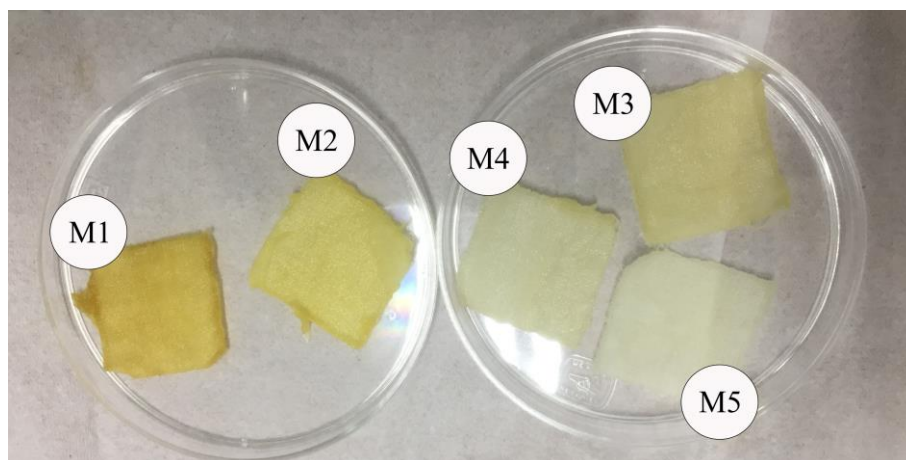


Figura 19. Muestra textil con diferentes concentraciones de nanopartículas de Ag.

Para disminuir la energía superficial e incrementar el valor de hidrofobicidad, las muestras fueron tratadas con HDTMS. Las muestras Textil/Ag fueron inmersas en una solución alcohólica (1 % vol.) de HDTMS prehidrolizado como se muestra en la figura 20 y puesta en agitación moderada por 60 min a temperatura ambiente como se puede observar en la figura 21. Después del tiempo de inmersión con el HDTMS, las muestras fueron extraídas y lavadas con agua varias veces para eliminar exceso de reactantes. Finalmente las muestras fueron tratadas térmicamente a 90 °C por 30 minutos para generar la adsorción química del HDTMS. En la figura 22 se muestra una imagen del horno utilizado para el tratamiento térmico de las muestras textiles. Los nanotextiles de algodón conteniendo diferentes concentraciones de nanopartículas de Ag fueron finalmente obtenidos y caracterizados para cuantificar las propiedades de protección a la radiación UV y superhidrofóbicas.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.



Figura 20. Prehidrolizado de HDTMS.



Figura 21. Muestra textil sumergida en HDTMS.



Figura 22. Tratamiento térmico textil/HDTMS.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

III.5. Imágenes SEM nanotextiles Ag/HDTMS.

La morfología superficial de la tela textil sin y con nanotratamiento fue investigada por microscopía electrónica de barrido y es mostrada en la figura 23. La micrografía MEB a baja amplificación (figura 23 a) presenta un tejido plano y una estructura fibrosa ordenada sin la presencia aparente de algún tipo de recubrimiento en su superficie. La imagen con mayor amplificación (figura 23 b), revela la fibra longitudinal lisa de la tela de algodón sin la presencia de partículas en su superficie. Sin embargo, la micrografía amplificada (figura 23 c) revela la presencia de partículas de plata en toda el área superficial de la fibra de tela de algodón con nanotratamiento AgNO_3 . Superficies rugosas producto de la presencia de nanopartículas de plata sobre la tela textil son formadas.

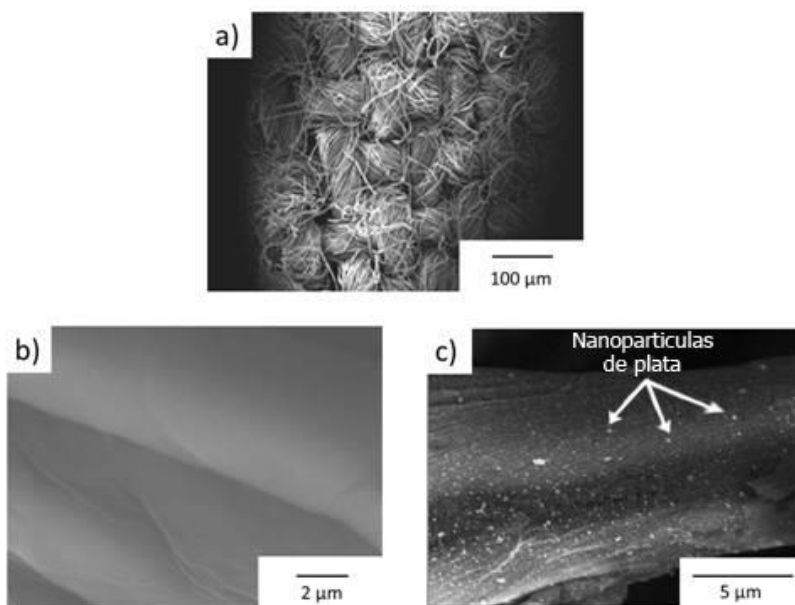


Figura 23. Imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido de la muestra M2: a) Tela textil pura, b) Fibra textil sin nanotratamiento y c) Fibra textil con incorporación de nanopartículas de Ag.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

III.6. Espectros EDS

Los elementos químicos en la superficie de la tela de algodón fueron determinados por espectroscopia EDS. La figura 24 muestra el espectro EDS de las fibras textiles de algodón con incorporación de nanopartículas de Ag a una concentración de 10 ml solución. Picos característicos de C y O fueron detectados sobre las fibras textiles (Figura 24 a), el pico a 3 KeV corresponde a la presencia de Ag en estado metálico. Para corroborar estos resultados, se realizó un microanálisis cualitativo de las fibras textiles para relacionar la información química con la distribución elemental de Ag utilizando un mapeo de rayos X. En la imagen de electrones secundarios se puede distinguir con claridad la presencia de partículas de Ag (puntos rojos Figura 24 b) y la fibra textil. Además es evidente que la presencia de las partículas son distribuidas homogéneamente en toda el área de la fibra textil. Los resultados de las muestras de nanotextil obtenidas con diferente concentración de nanopartículas de plata, revelan los mismos resultados y corroboran la presencia de partículas de plata en la superficie de las fibras de algodón.

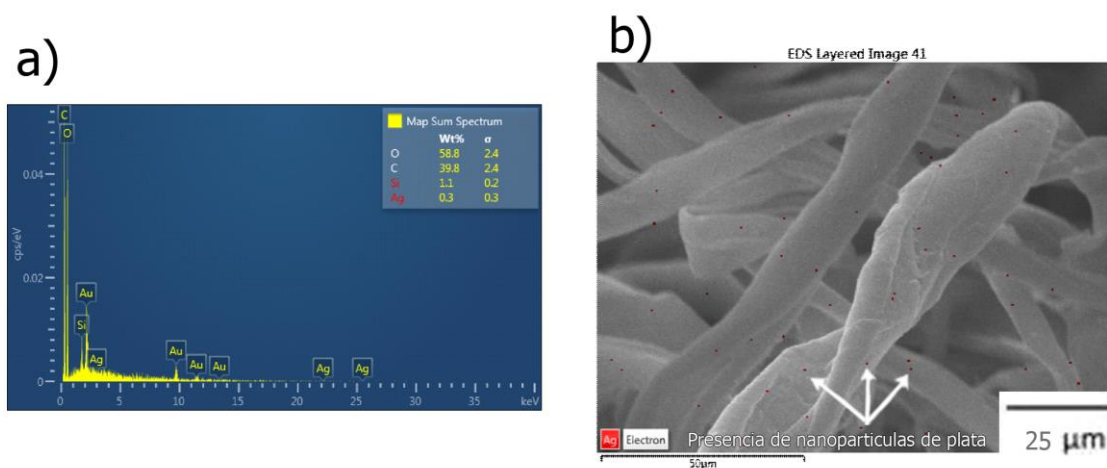


Figura 24. Espectro EDS de textil/HDTMS. a) Elementos químicos detectados en la superficie de la tela de algodón b) mapeo de rayos X

CAPITULO IV

PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS NANOTEXTILES: PROTECCIÓN UV



Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Propiedades funcionales de los nanotextiles: Protección UV.

En esta parte de la tesis se presentan los resultados de la caracterización de las propiedades funcionales de protección UV de los nanotextiles preparados con diferentes contenidos de nanopartículas de plata.

IV.1 Factor de protección UV.

Para el cálculo del Factor de Protección Ultravioleta (*FPU*) de los diferentes nanotextiles fue necesario cuantificar el porcentaje de transmitancia en el rango del ultravioleta (290 - 400 nm.) que se rige bajo la norma AATCC 183-2004. Los datos correspondientes a la transmitancia espectral de los nanotextiles corresponden a la información obtenida mediante el uso del espectrofotómetro UV-Vis. Se realizó la prueba de transmitancia con el espectrofotómetro considerando 3 muestras de cada nanotextil para obtener su transmitancia promedio siendo éste el valor que se consideró para obtener el *FPU* mediante la siguiente formula (ver ecuación 3).

$$UPF = \frac{\sum_{\lambda=290}^{400} xE\lambda xS\lambda x\Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{400} xE\lambda xS\lambda xT\lambda x\Delta\lambda} \quad Ec.3$$

E : Espectro eritemal según CIE.

S : Irradiancia espectral solar.

T : Transmitancia espectral del tejido.

: Anchura de banda en nanómetros.

: Longitud de onda en nanómetros.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

- Transmitancia espectral: que representa la cantidad de energía que se transmite a través del tejido en todo el rango de longitud de onda del ultravioleta.
- Irradiancia espectral solar: que es una función de la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la Tierra para cada longitud de onda.
- Espectro de acción eritemal: que es una ponderación de la acción de la radiación ultravioleta sobre la piel, en función de la longitud de onda. (Algaba Joaquín I.M., 2004)

Con la finalidad de estudiar la contribución por separado del HDTMS y las nanopartículas de Ag, se evaluaron las siguientes muestras textiles a modo de referencia: tela de algodón no tratada, a partir del cual se evalúa la contribución de la tela textil de partida; tela de algodón con tratamiento con HDTMS, a partir del cual se estudia la influencia de la disminución de la energía superficial en el FPS; tela de algodón con incorporación de nanopartículas de plata sin HDTMS, a partir del cual se evaluó la contribución de las nanopartículas en el valor FPS. Según las condiciones de cada tratamiento, se espera encontrar diferencias en la capacidad de protección frente a la radiación UV de la tela de algodón. En la figura 25 se presentan los espectros de transmitancia de las correspondientes muestras de tela de algodón y nanotextiles en función de la longitud de onda en el intervalo UV.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

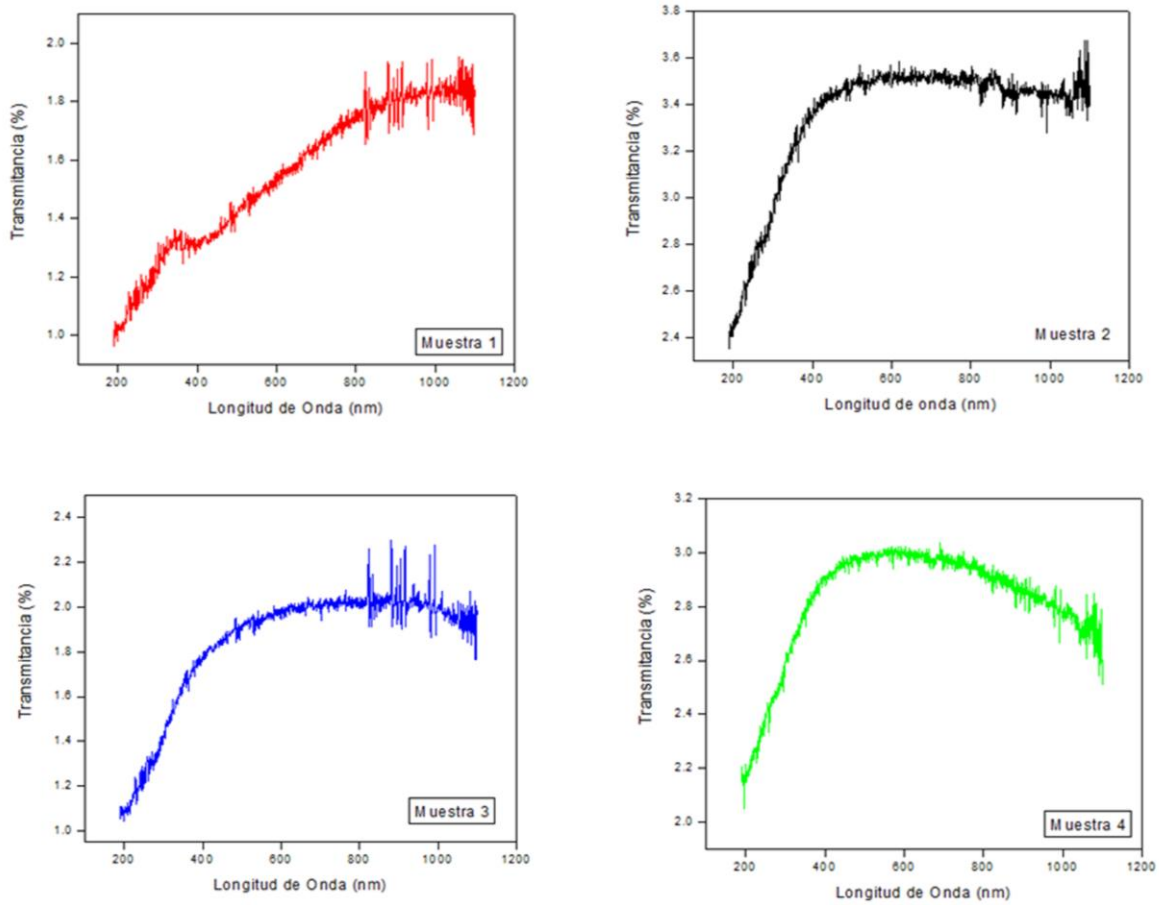


Figura 25. Espectro de transmitancia de las diferentes muestras de algodón y nanotextiles.

Las telas de algodón de referencia no tratadas y con HDTMS muestran curvas de transmitancia en función de la longitud de onda muy similares. Los datos sugieren que el HDTMS no disminuye el porcentaje de radiación UV transmitida a través de la tela, ya sea por dispersión, reflexión o absorción. Este resultado es atribuible a que el HDTMS es completamente transparente a la radiación UV. En cambio la tela de algodón con nanopartículas de plata presenta cambios considerable en su espectro de transmitancia comparado con la tela de algodón sin tratamiento. Las propiedades de absorción en el UV de las propias nanopartículas de plata pueden ser las responsables de la disminución de la transmitancia observada en la tela de algodón. Si comparamos los espectros de transmitancia de los nanotextiles con los de la tela de algodón conteniendo únicamente

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

nanopartículas de plata, se observa que el porcentaje de la transmitancia es aún menor. Este resultado puede ser atribuido a la presencia de las nanopartículas de plata y a la posible modificación de composición química del HDTMS generada por las nanopartículas metálicas durante el proceso de calentamiento generando una disminución de la transmitancia. Por lo tanto se sugiere que la deposición conjunta de las nanopartículas de plata y HDTMS en la tela de algodón influye en los factores que determinan la capacidad de protección de la tela de algodón frente a la radiación UV. Las observaciones mediante SEM apoyan los resultados obtenidos (figura 23).

Analizando los espectros de transmitancia de los nanotextiles con diferentes contenidos de nanopartículas de plata, es posible observar que el porcentaje de transmitancia disminuye con el incremento de la concentración de nanopartículas llegando a un valor cercano al 1%, lo cual es atribuido a la capacidad de absorción de las nanopartículas de plata, a mayor presencia de nanopartículas se incrementa la capacidad de absorción UV del nanotextil. En la tabla 3 se presentan diferenciados los valores promedio de transmitancia correspondientes a las regiones de radiación UV-A y UV-B.

En la tabla 4 se presentan los valores promedio de transmitancia de las telas de algodón y nanotextiles en el rango de radiación UV-A y UV-B. Estos valores corresponden a la proporción de la radiación UV que es capaz de atravesar la tela, tanto directamente a través de los espacios abiertos de la tela (poros), como de manera difusa, a través del material textil. La transmisión de la radiación de manera difusa se debe al hecho de que las fibras no son objetos opacos. Las telas de algodón, por sí mismas, presentan cierta capacidad de protección frente a la radiación UV que depende, entre otros factores, del tipo de fibra, del grosor del tejido, de la porosidad, etc. Así mismo, es un hecho conocido que mediante el proceso de blanqueo se disminuye la protección correspondiente a un sustrato textil debido a la eliminación de sustancias en la materia prima que protegen de la radiación UV, como por ejemplo pigmentos naturales. Los valores de transmitancia de los tejidos de algodón empleado en este trabajo (tejido 100%, blanqueado, sin blanqueadores ópticos) son similares a los de otros tejidos de algodón blanqueados encontrados en la literatura (M. Shateri-Khalilabad, 2013). La tela de algodón tratada con HDTMS presenta resultados

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

similares a la tela de algodón sin tratamiento, como era de esperar a partir de sus correspondientes curvas de transmitancia.

Tabla 3. Valores Promedio de transmitancia de las telas de algodón y nanotextiles.

Rango FPU	Categoría de protección UVR	Transmisión UVR efectiva %	Índice FPU
15-20	Buena protección	6,7 a 4,2	15, 20
25-39	Muy buena protección	4,1 a 2,6	25,30,35
40-50,50+	Excelente protección	< 2,5	40,45,50,50+

Los nanotextiles presentan una disminución considerable de la transmitancia frente a la radiación UV- A y B. Los valores más bajos de transmitancia se obtuvieron mediante la aplicación de mayor cantidad de nanopartículas. La deposición de una mayor cantidad de nanopartículas genera una mayor cantidad de puntos absorbentes de radiación UV. Además la acumulación de ellas formando multicapas de nanopartículas generando una mayor capacidad protectora de transmisión de radiación UV. Puesto que el daño real a la piel humana de la radiación UV es una función de la longitud de onda de la radiación incidente (con un mayor efecto negativo en la región de 300-320 nm.), los nanotextiles obtenidos en este trabajo de Tesis proporcionan una excelente protección a la radiación UV.

A partir de los valores de transmitancia de las telas de algodón y nanotextiles se determinó el FPU, en el cual se tiene en cuenta la diferente acción eritemal de la radiación UV-A y B. El FPU corresponde a la medida cualitativa de la efectividad de un tejido para proteger la piel frente a la radiación UV, y se calcula mediante la *Ecuación 3*

Este parámetro es muy importante ya que sirve como referencia para evaluar la protección de los tejidos frente a la radiación UV. El etiquetado que indica la categoría de protección UV de las prendas de vestir se regula en correspondencia con los valores de FPU, según la norma AS/NZ 4399:1996. Los valores de FPU, con sus respectivas categorías se muestran en la Tabla 4.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Tabla 4. Valores promedio de FPU de la tela de algodón de referencia y los nanotextiles según la norma AS/NZ 4399:1996

Muestra	FPU promedio	Categoría de protección UV
Textil Lavado	28.63	Muy buena protección
Textil 1	106.24	Excelente protección
Textil 2	64.00	Excelente protección
Textil 3	62.97	Excelente protección
Textil 4	55.77	Excelente protección

Los valores de FPU de las telas de algodón de referencia no alcanzan el valor mínimo a partir del cual la norma AS/NZ 4399:1996 establece que hay cierto grado de protección, por lo tanto, se podría considerar que dichos tejidos presentan una protección insuficiente ante la radiación UV. En cambio todos los nanotextiles presentan un elevado factor FPU, que corresponde con una categoría de protección UV excelente. Se puede apreciar el incremento del valor FPU en los nanotextiles con el incremento de la cantidad de nanopartículas de plata. Este resultado se atribuye principalmente a la mayor distribución de nanopartículas sobre la fibra de algodón observado por SEM (figura 23). Por lo tanto se sugiere que el hecho de tener un recubrimiento de nanopartículas más compacto implica mayor capacidad de protección a la radiación UV.

CAPITULO V

PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS NANOTEXTILES: PROPIEDADES SUPERHIDROFOBICAS



En este capítulo se presentan los resultados de la evaluación de las propiedades de superhidrofobicidad de los nanotextiles desarrollados en este trabajo de tesis. Se presentan el diseño e implementación del equipo utilizado para la medición del ángulo de contacto para cuantificar las propiedades superhidrofóbicas.

V.1 Diseño e implementación del equipo utilizado para medir el ángulo de contacto.

En la figura 26 se presenta de manera esquemática cada uno de los componentes que conforma el diseño del equipo para cuantificar la propiedad superhidrofóbica a través de la medición del ángulo de contacto (θ) de los nanotextiles preparados.

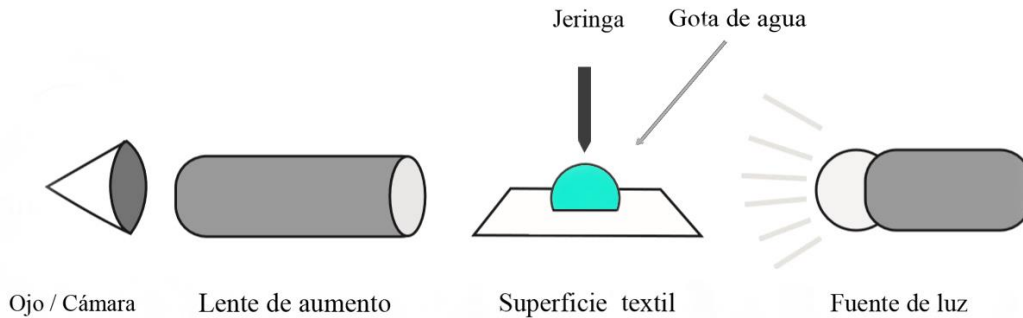


Figura 26. Arreglo esquemático de los componentes del goniómetro diseñado por la medición del ángulo de contacto.

En forma general, para obtener la medida de θ , se coloca una microgota de agua de prueba en la superficie del textil y se mide el ángulo de contacto en el borde de la gota. El ojo del observador o cámara es colocada enfrente de la gota sobre el mismo eje de la superficie del textil y con una fuente de luz blanca detrás de la gota. La gota, aunque es transparente, debido a su forma esférica dispersa la luz fuera de la línea de visión y aparece por lo tanto, de color negro delante de un fondo brillante en la imagen. El valor del ángulo de contacto se obtiene dibujando una tangente del punto donde convergen las tres fases líquido-aire-sólido (superficie textil) y midiendo el ángulo dentro de la gota de agua.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Tomando como referencia el diseño esquemático de la figura 26, se procedió a implementar experimentalmente el equipo para la medición del ángulo de contacto de las muestras. El goniómetro está conformado por una caja de madera con dimensiones de 50x60 cm la cual en su interior está pintada de color negro para evitar los brillos y poder hacer mediciones adecuadas del ángulo de contacto. Dentro de esta caja se encuentra un elevador manual que funciona como la plataforma para colocar a una altura predeterminada la muestra textil. En un extremo de la caja se hizo una perforación circular con un diámetro de 8 cm sobre la cual se colocó una cámara digital Canon con un lente macro para poder obtener imágenes nítidas, en el otro extremo se pone un foco de luz blanca para poder tener la suficiente iluminación y obtener imágenes de buena calidad. En la parte superior de la caja se realiza una perforación pequeña en donde se introduce una jeringa con agua la cual está conectada a una infusora que permite regular la cantidad de agua que se depositará en la superficie del nanotextil (ver figura 27).

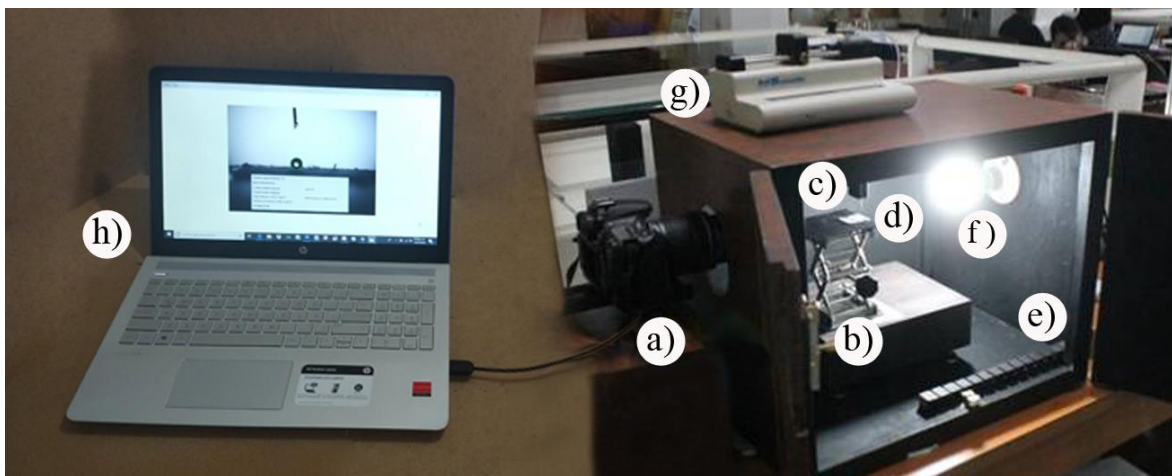


Figura 27. Imagen del goniómetro implementado para medir el ángulo de contacto, a) cámara fotográfica, b) elevador manual, c) jeringa, d) nanotextil, e) caja negra, f) fuente de luz, g) infusora, h) computadora con el software ImageJ.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

V.2. Medición del ángulo de contacto.

Para medir el ángulo de contacto, una gota de agua bidestilada de 6 μl fue formada y depositada cuidadosamente sobre la superficie de la muestra textil. Para obtener valores significativos del ángulo de contacto, se depositaron cuatro gotas en diferentes lugares de la superficie. Con una cámara y con un lente de aumento, colocados en el mismo eje de la gota de agua, se obtuvieron las imágenes que posteriormente fueron analizadas utilizando un software específico “ImageJ” para obtener directamente el valor del ángulo de contacto. El tipo de imagen y el dato que se obtiene de cada una de los nanotextiles preparados se muestra en la figura 28.

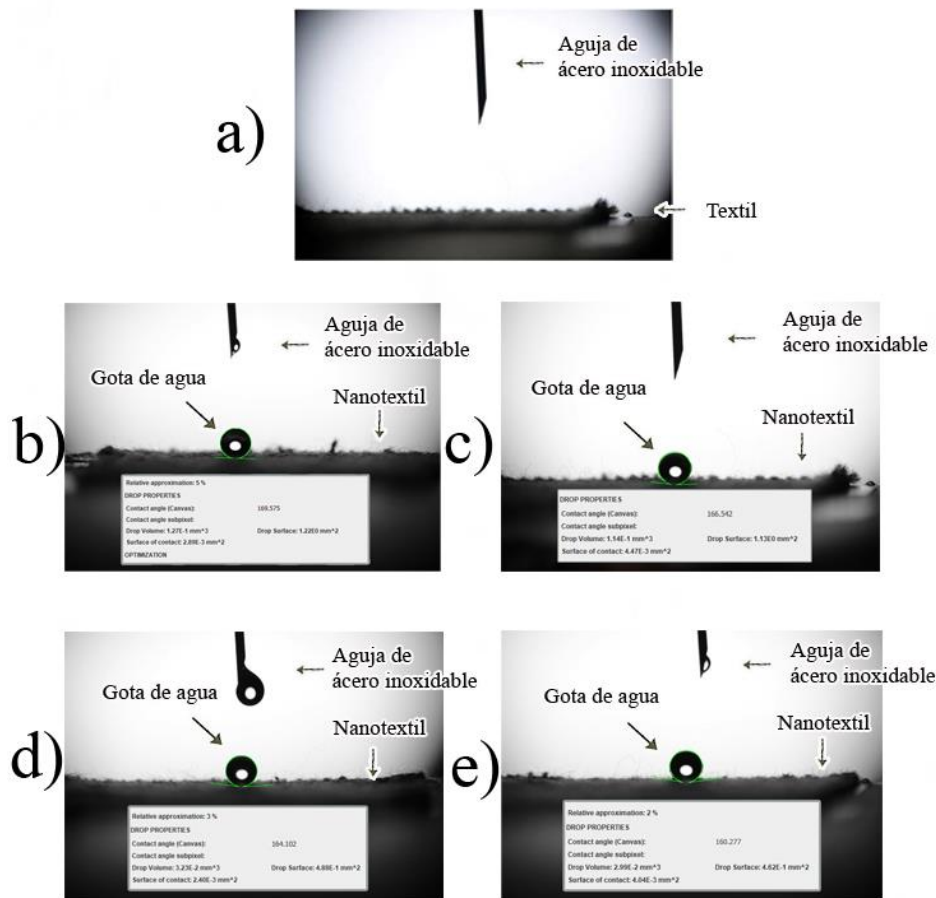


Figura 28. Imágenes obtenidas del goniómetro de la gota de agua bidestilada depositada sobre la superficie de los diferentes nanotextiles preparados: a) textil sin tratamiento, b) 10 ml de solución Ag. c) 8 ml de solución Ag. + 2ml de agua, d) 6 ml de solución Ag. + 4 ml de agua, e) 4 ml de solución Ag. + 6 ml de agua. En cada una de las imágenes también se presenta las medidas del ángulo de contacto obtenidas utilizando el software ImageJ descargado libremente en internet.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Los valores de los ángulos de contacto fueron calculados a temperatura ambiente y son resumidos en la tabla 5.

Tabla 5. Medida del ángulo de contacto de los diferentes nanotextiles.

Muestra Textil	Ángulo de contacto (θ°)
a) Sin tratamiento alguno	Indefinido (altamente mojable)
b)	169.5
c)	166.5
d)	164.1
e)	160.2

De los valores de los ángulos de contacto se puede observar que sólo los textiles que fueron modificados superficialmente con nanopartículas de Ag y HDTMS presentan ángulos de contacto superiores a 150° revelando el desarrollo de la propiedad superhidrofóbica de los textiles de algodón. La muestra textil de algodón sin algún tipo de tratamiento es completamente mojable por el agua producto de la presencia de una cantidad abundante de grupos hidroxilos (-OH) sobre la superficie del textil. También es posible observar que el valor de θ aumentó en los nanotextiles que fueron obtenidos con una mayor densidad de nanopartículas de Ag. Cuando una mayor cantidad de nanopartículas de Ag son incorporadas la rugosidad superficial del textil de algodón es incrementada a cierto nivel originando hipotéticamente que las burbujas de aire puedan quedar atrapadas entre las nanopartículas de Ag aumentando la superhidrofobicidad de los nanotextiles. A mayor rugosidad superficial se incrementa el valor del ángulo de contacto (hidrofobicidad) según el modelo de Cassie y Baxter (Cassie, A. B. D., Baxter, S. 1944.). Es necesario mencionar que el textil con la adsorción superficial únicamente de nanopartículas de Ag no cambió significativamente las propiedades de mojabilidad del textil.

Como ya se mencionó anteriormente para llamar a una superficie hidrofóbica tiene que obtenerse un ángulo de contacto entre 90° y 150° pero para llamarlo superhidrofóbico tiene que dar una medida mayor a 150°

V.3. Propiedades hidrofóbicas del tejido utilizado.

Las propiedades hidrofóbicas fueron medidas a través de la medición del ángulo de contacto. En la figura 29 se muestra una secuencia de imágenes y los diferentes tipos de acabados del material textil, estas imágenes son tomadas como referencia para ver si son o no hidrofóbicas y se describen de la siguiente manera: en la imagen a) se presenta un textil únicamente lavado sin ningún otro tipo de proceso y como se puede observar el textil lo absorbe la gota de agua añadida como cualquier prenda que se usa a diario; en la imagen b) se presenta un textil con tratamiento de HDTMS, aquí ya se puede percibir que la morfología del textil cambió ya que la gota se deposita únicamente en la superficie y estas no se absorben; en la imagen c) con nanopartículas de plata el textil absorbe la gota de agua, hasta este proceso se obtiene una protección contra la radiación ultravioleta pero el textil carece de la propiedad de hidrofobicidad; en la imagen d) se muestra el textil con tratamiento de nanopartículas de plata y con tratamiento de HDTMS, en este punto ya se percibe la hidrofobicidad que se desea que el textil tenga y al mismo tiempo resulta con propiedades de protección a la radiación ultravioleta.

Las gotas de agua que se encuentran sobre la superficie de los nanotextiles tienen una forma cuasiesférica y se pueden remplazar con el proceso de rodamiento, absorción o en su total evaporación.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

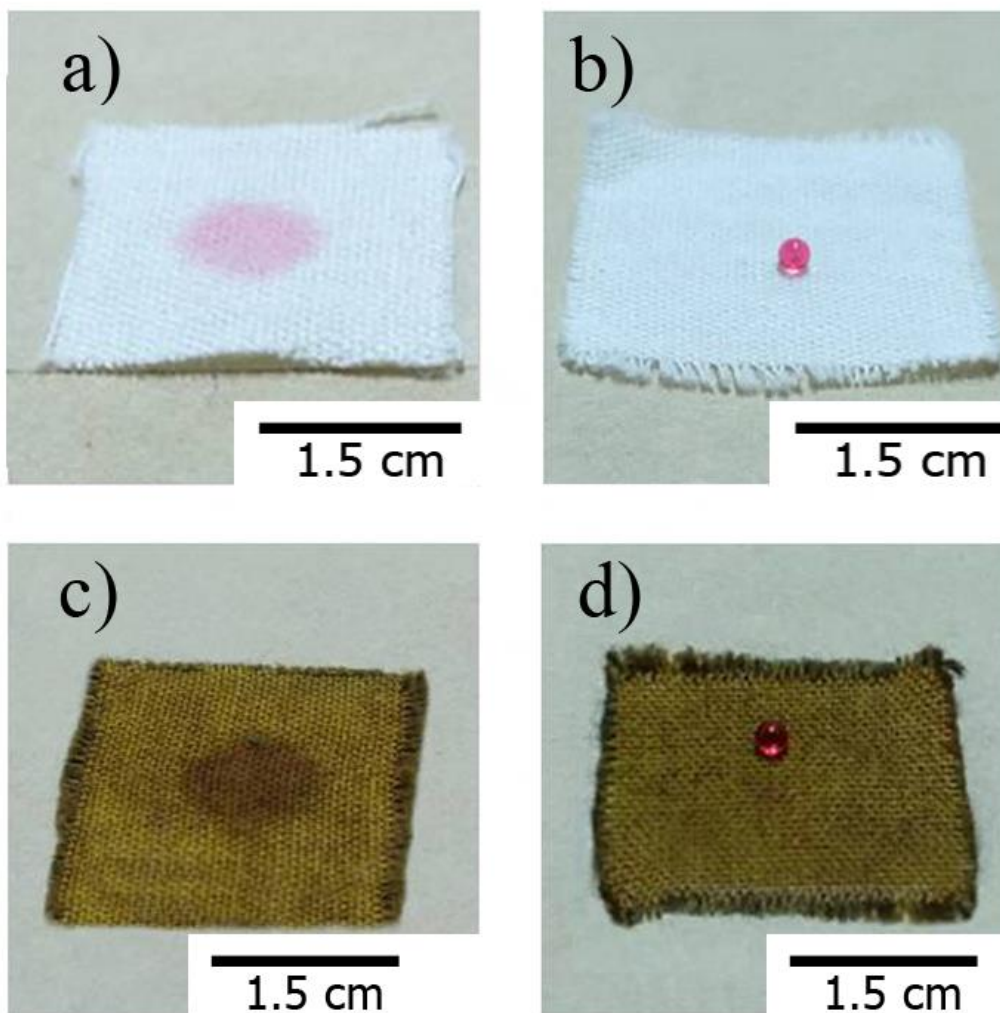


Figura 29. a) Textil lavado, b) textil con HDTMS, c) Textil únicamente con nanopartículas de Ag., d) textil con nanopartículas de Ag/ HDTMS.

Cuando una gota se deposita sobre una superficie superhidrofóbica está tiene la capacidad de arrastrar el polvo y contaminantes, en una superficie sin tratamiento los contaminantes se depositan. Al obtener un ángulo de contacto por encima de 150° los contaminantes tienen una baja adherencia y una limpieza automática, al contar con esta propiedad se reduce el esfuerzo, tiempo y dinero. Por esta razón el diseño de superficies superhidrofóbicas es una excelente opción para prevenir la suciedad y el desgaste común de las prendas en el lavado.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

En la tabla 6 se presentan los resultados del valor del ángulo de contacto de cada uno de los textiles modificados morfológicamente y una relación del valor del factor de protección ultravioleta (FPU).

Tabla 6. Resultados obtenidos del valor de ángulo de contacto del nanotextil con tratamiento Ag/HDTMS y una relación con FPU

Muestra	FPU	Valor de Ángulo de contacto
Textil de referencia	28.63	0.0°
Nanotextil 1	106.24	169.575°
Nanotextil 2	64.00	166.542°
Nanotextil 3	62.97	164.102°
Nanotextil 4	55.77	160.277 °

Como ya se mencionó anteriormente para llamar a una superficie hidrofóbica tiene que dar un ángulo de contacto entre 90° y 150° pero para llamarla superhidrofóbica tiene que dar una medida mayor a 150°.

En conclusión, los textiles tratados químicamente con nanopartículas de plata/HDTMS obtuvieron ángulos de contacto superiores a 160° dando como resultado textiles superhidrofóbicos en cada una de las muestras.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES FINALES



CONCLUSIONES FINALES

En la presente tesis de licenciatura se han obtenido nanotextiles funcionales con propiedades de superhidrofobicidad y de protección frente a la radiación UV a partir de la incorporación de nanopartículas de Ag.

El trabajo de investigación desarrollado permitió alcanzar las siguientes conclusiones principales:

- Se desarrolló de manera exitosa la síntesis *ex-situ* de nanopartículas de Ag utilizando la ruta de química coloidal.
- Se sintetizaron nanopartículas de Ag bien definidas con tamaños de 9.6 nm. A temperatura ambiente utilizando al ácido ascórbico como agente reductor.
- Las nanopartículas de Ag presentan una resonancia de plasmón superficial a 410 nm.
- Se demostró el estado metálico de las nanopartículas de Ag por espectroscopia de energía dispersiva.
- Es posible desarrollar nanotextiles de algodón conteniendo nanopartículas de Ag utilizando el método de inmersión coloidal y un posterior tratamiento térmico.
- Se corroboró la presencia y cantidad de nanopartículas de Ag sobre la superficie de los textiles de algodón mediante la técnica de microscopia electrónica de barrido – EDS y espectroscopía UV-Vis. Se observó una mayor densidad de nanopartículas de Ag en la tela de algodón con mayor tiempo de inmersión del textil en la solución coloidal de Ag.
- Es posible desarrollar nanotextiles funcionales de algodón conteniendo nanopartículas de Ag con excelentes propiedades de superhidrofobicidad con ángulos de contacto mayores a 160° y buenas propiedades de protección-UV mayores a 100.

Bibliografía.

- AATC**, Test Method, Transmittance or Blocking of Erythemal y Weighted Ultraviolet Radiation Through Fabrics, AATCC Technical Manual, 2006. P. 39
- Addington**, M., Schodek, D. *Smart Materials and new technologies*. Burlington, MA, USA: Elsevier. 2005
- Aguilar** Méndez Miguel A. Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata: Efecto sobre *Collectotrichum gloesporioides*. Tesis (Doctorado) 2009. México, D.F. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada., IPN. P. 43
- Algaba** Joaquín I.M., 2004, Proporcionada por los Textiles: Estudio de la Influencia de las Variables más Significativas y Aplicación de Productos Específicos para su Mejora, Universidad Autónoma de Cataluña, España, Pp. 1-33
- Algadaba** I., Riva, A., Determinacion In Vitro del Factor de Proteccion UV de los Textiles, Boletin Exterior (U.P.C.) No. 121. 2002 Pp. 53-58
- AS/NZ** 4399, 1996 Sun protective clothing— Evaluation and classification, Australian/New Zealand Standard 1996
- Ashby**, M. F., Bréchet, Y. J. M., Cebon, D., y Salvo, L. Selection strategies for materials and processes. *Materials y Design*. 2004 Pp. 51-67
- Carrillo** N., J. , 2006 Estudio de la Eficiencia del Acabado con Resinas de Fluorocarbono en las Propiedades de Hidro y Oleo repelencia de Tejidos. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Textil. México, P 19, 70.
- Cassie**, A. B. D., Baxter, S. *Transactions of the faradaysociety*. 1944, 40, P. 546.
- Cegarra**, J. Fundamentos y Tecnologia del Blanqueo de Materiales Textiles, Universidad Autonoma de Cataluña 1997 Pp. 226, 227, 232,234,
- CIE**, (1993) A referenceaction spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (106).
- Coyle**, S., Wu, Y., Lau, K., De Rossi, D., Wallace, G. & Diamond, D. (2007). Smart Nanotextiles: A Review of Materials and Applications. *MRS Bulletin*, UK, 32. p. 434.

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

- Díaz** Barriga Castro E., Síntesis y Caracterización de Nanoalambres con Composiciones y Propiedades Micro Estructurales y Magnéticas Diseñadas, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México, 2014, Pp. 41-46
- Díaz** del Castillo Rodríguez F (2012).,Introducción a los Nanomateriales, Universidad Nacional Autónoma de México, Departamento de Ingeniería, Cd de México. p.2
- Fernández** Cañete A. Estudio de la Hidrofobicidad y Autolimpieza en Materiales con Nanotratamientos Superficiales, Universidad Autónoma de Barcelona, España 2013, Pp. 6-17
- Gacén** Guillen J. Nuevos Desarrollos en Fibras Químicas, Universidad Politécnica de Cataluña, España, P. 131
- García** Serrano L. A., Influencia de la Nanotecnología en el sector textil, México, D.F. 2010, P. 9
- García** Sorroche J. A., Los textiles Inteligentes Vistos por Induyco, Textil Expres, 2005 N° 145. P.p 68, 72.
- Genzer**, Efimenko 2006
- Gómez** Villarraga F. Nanopartículas Metálicas y sus Aplicaciones Pp. 3-4
- González** Cifuentes J, Adivinación de micropartículas de cobre y plata en fibras termoplásticas para la funcionalización de productos textiles, 2017, Universidad Politécnica de Valencia, España, P. 14 2017.
- González** Hueto Guillermina. Síntesis y caracterización de películas nanoestructuradas de boehmita con propiedades superhidrofóbicas. Tesis (Posgrado) 2010. México, D.F. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada., IPN. P. 10-19.
- Gordon** S., Hsieh Y. L., Cotton: Science and Technology, The Textile Institute 2007
- Gowri**, S., Almeida, L., Amorim, T., Carneiro, N., Souto, A. P., & Esteves, M. F. (2010). Polymer nanocomposites for multifunctional finishing of textiles a review. *Textile Research Journal*, 80(13), 1290-1306.
- Grupo** Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2005 La protección de la capa de ozono y el sistema climático mundial: Cuestiones relativas a los hidrofluorocarbonos y a los perfluorocarbonos

- Hollen**, N. Saddeler, J. Langford, A. L. Introducción a los Textiles, Limusa, México, 2011 Pp. 10,11,
- Hu**, J., Xiao, Z., Ma, S., Zhou, R., Wang, M., & Li, Z. (2012). Properties of osmanthus fragrance-loaded chitosan-sodium tripolyphosphate nanoparticles delivered through cotton fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(6), 3748-3754.
- Jarupaiboon**, S., Rungsardthong, K., Sramala, I., Kangwansupamonkon, W., Puttipipatkachorn, S., & Ruktanonchai, U., (2007). Improved anti-dust mite properties of textiles by eugenol loaded chitosan nanoparticles. *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, IEEE NEMS 2007*, 1016-1019.
- Joshi**, M., & Bhattacharyya, A. (2011) Nanotechnology-A new route to high-performance functional textiles. *Textile Progress*, 43(3), 155-233
- Karimi**, L., Mirjalili, M., Yazdanshenas, M. E., & Nazari, A. (2010). Effect of nano TiO₂ on self-cleaning property of cross-linking cotton fabric with succinic acid under UV irradiation. *Photochemistry and Photobiology*, 86(5), 1030-1037.
- Lee**, H. J., Jeong, S. H. (2004). Bacteriostasis of nanosized silver on polyester nonwovens. *Textile Research Journal* 74(5), 442-447.
- Li**, S., Lewis, J., Stewart, N., Qian, L., & Boyter, H. (2008). Effect of finishing method on washing durability of microencapsulated aroma finishing. *Journal of the Textile Institute*, 99(2), 177-183.
- M. Shateri-Khalilabad**, M. E. Yazdanshenas., Ali. E., Fabricating multifunctional silver nanoparticles-coated cotton fabric. 2013.
- Melchor Alemán**, M.A., Mesta Torres, L. y Martel Estrada, S.A. 2016. Aplicaciones de Nanopartículas en Textiles para Interiores. Revista Espacio I+D, Innovación más Desarrollo Vol. V. No 16 Febrero 2016, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. Pp. 160, 155-157
- Mihailovic**, D., Saponjic, Z., Radoicic, M., Radetic, M. et al. Functionalization of cotton fabrics with corona/air RF plasma and colloidal TiO₂ nanoparticles. *Cellulose*, 2010 18(3), Pp. 811-825.
- Observatorio** de corporaciones Transnacionales, IDEAS/ Iniciativa de Economía Alternativa Solidaria, El Sector del Algodón y la Industria Textil, 2005, Córdoba, España Boletín N° 8. Pp. 8-25

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

- Perepelkin, K. E.** (2005). Principles and Methods of Modification of Fibres and Fibre Materials. A Review. *Fibre Chemistry*, 37(2), 123-140.
- Rajendran, R., Radhai, R., Kotresh, T. M., & Csiszar, E.** (2013). Development of antimicrobial cotton fabric using herb-loaded nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, 91(2), 613-617.
- Renau Piqueras J., Faura M.,** Principios Básicos del Microscopio Electrónico de Barrido, Coruña. España 1994 Pp. 73-90
- Riva, A., Algadaba I., Pepió M.,** Acción de un Producto de Acabado Específico en la Mejora del Factor de Protección a la Radiación Ultravioleta de Tejidos de Algodón. Modelización de los Efectos. Boletín exterior (U.P.C) No. 131 2007 P. 30
- Roldan A.** Textiles inteligentes Autores científicos –Técnicos y Académicos, N°. 56, 2010, Pp. 71, 75
- Salas E., M. C. E.,** 2013. Análisis de Textiles. Ed. Trillas (Reimp 2016) Mexico, p 11, 81-84.
- Salmentón G.,** Riesgos de la exposición solar, Servicio de Dermatología del Centro Hospitalario Pereira Rossell consultado en www.scielo.edu.uy/pdf/adp/v71n1-4/breves.pdf
- Sanchez Martin J. R.,** Los Tejidos y el Desarrollo Tecnológico de la Industria Textil, Técnica Industrial 268, Marzo Abril, 2008 Pp. 39
- Seidlitz, H. K., & Krins. A.** Solar radiation and its measurement. Environmental UV Radiation: Impact on Ecosystems and Human Health and Predictive Models, (F. Ghetti et al eds.) Springer, Netherlands (2006), 25-31
- Solé Cabanes, A.** Hilatura de algodón, Fibras textiles, Hilatura de algodón, Parámetros de hilos, Cuaderno tecnológico N° 1, Instituto Tecnológico Textil (AITEC) de España. España, 2012, p 13
- Song J., Rojas O. J.** Approaching super-hydrophobicity from cellulosic material, Superhidrofóbicos Nordic Pulp & Paper Research Journal Vol 28 no. 2, 2013 P. 216
- Sorrivas de Lozano E. et al,** Principios y práctica de la Microscopía Electrónica. Bahía Blanca, 2014

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Tornari, C. Nuevos Desarrollos Tecnológicos, Universidad de Palermo, Facultad de diseño y Comunicación, 2012 Pp. 6, 9, 13, 14, 15, 25, 36, 42, 43,57

Viudez Navarro Javier Alfonso. Síntesis, caracterización y ensamblaje de nanopartículas de oro protegidas por monocapas moleculares. Tesis (Doctorado). Córdoba, España, Universidad de Córdoba, Departamento de Química Física y Termodinámica Aplicada, (2011), P. 320.

Referencias electrónicas.

Consultado el 20 de febrero de 2018 en:

<http://www.sarex.com/textile/wp-content/uploads/2015/10/manual-spanish.pdf>

Consultado el 6 de marzo de 2018

http://www.comprendamos.org/alephzero/52/la_radiacion_ultravioleta_y_sus_efectos_en_el_ser.html

Consultado el 20 de marzo de 2018

<https://es.slideshare.net/constantinamotta>

www.manual-spanish.pdf

Preparación de nanotextiles de algodón con propiedades superhidrofóbicas y de protección a la radiación ultravioleta.

Anexos.

Productos obtenidos:

Congresos.

1.- "Application of Silver Nanowire to Cotton Fabric for Develop a Superhydrophobic Textile", Josefina Águila López, Alejandro Rodríguez Juárez, **José Fernando Huerta Rosas**, José Ángel Juárez Torres, Jesús Antonio Fuentes García, José Luis Herrera Pérez, José Francisco Sánchez Ramírez, VIII International Conference on Surfaces, Materials and Vacuum, septiembre 21 al 25, 2015 Puebla, Puebla.

2.- Controlled ex-situ Synthesis of Nanoparticles on Cotton Fibers Toward Highly Multifunctional Textiles, **J. F. Huerta Rosas**, M.L. Castellanos Cabrera, A. Netzahual Lopanzi, J. A. Pescador Rojas, J. Díaz Reyes, J. F. Sánchez Ramírez, VIII Congreso Nacional de Ciencia e Ingeniería en Materiales, Marzo 8 al 10, 2017 Cuernavaca Morelos.