

Herramienta para el desarrollo y aplicación de nanopartículas de cobre aplicadas como recubrimiento hidrófobo y antimicrobiano sobre fibras de poliéster para la construcción de un material textil.

# CUPRE -NANPS

Laura Camila Ramos Montilla

Diseño de Vestuario

**Herramienta para el desarrollo y aplicación de nanopartículas de cobre, aplicadas como recubrimiento hidrófobo y antimicrobiano sobre fibras de poliéster para la construcción de un material textil.**

**LAURA CAMILA RAMOS MONTILLA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO DE VESTURARIO  
MEDELLÍN  
2018**

**Herramienta para el desarrollo y aplicación de nanopartículas de cobre, aplicadas como recubrimiento sobre fibras de poliéster para construcción de materia textil.**

**LAURA CAMILA RAMOS MONITLLA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Diseño de Vestuario**

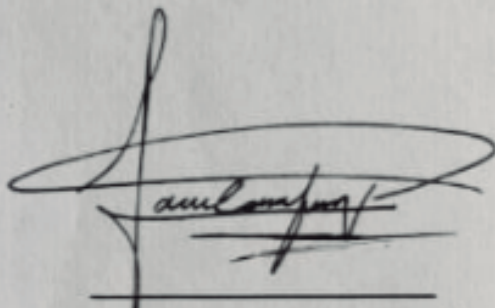
**Asesor/Director  
FAUSTO ZULETA**

**Docente investigador Diseño de vestuario  
Y GIDVT,PHD Bioingeniera**

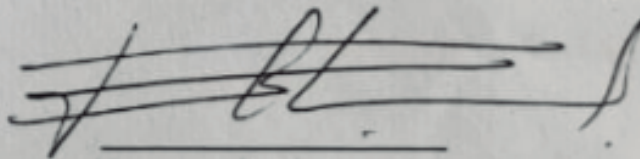
**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ARQUITECTURA Y DISEÑO  
FACULTAD DE DISEÑO DE VESTURARIO  
MEDELLÍN  
2018**

## Declaración de originalidad

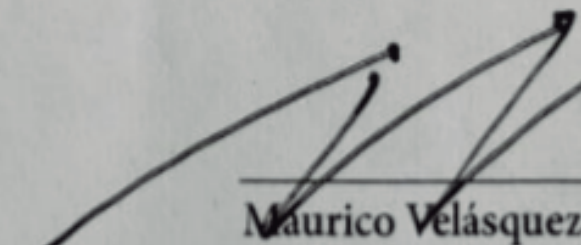
Hoy, noviembre 19 de 2018, Laura Camila Ramos Montilla, declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad



Laura C. Ramos Montilla.  
CC. 1061773830 & ID. 000241668



Fausto A. Zuleta M.  
Director Trabajo de Grado



Maurico Velásquez  
Director Facultad Diseño de Vestuario





# Agradecimientos

**Natalia Ramos Montilla**

Aspirante a título de, Ingeniera en nanotecnología y Master en ingeniería de superficies.

**Fausto Zuleta**

Docente investigador Diseño de vestuario  
Y GIDVT,PHD Bioingeniera

**A mis padres** y cada una de las personas que durante mi formación estuvieron presentes para creer en cada uno de mis proyectos. Principalmente por su paciencia, comprensión y aporte de conocimientos.

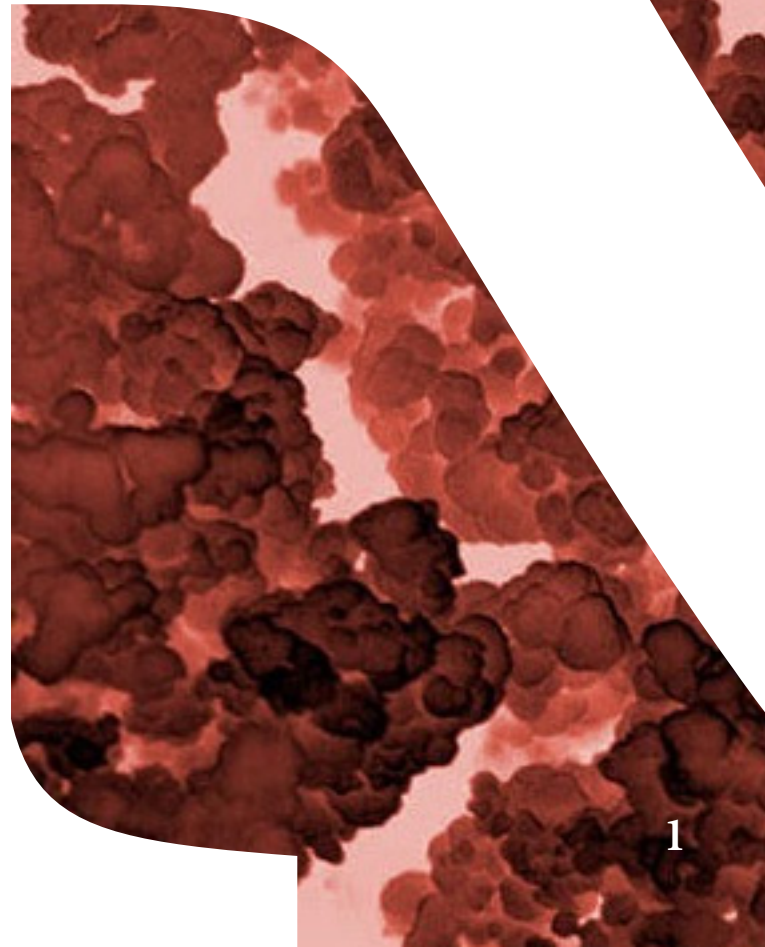
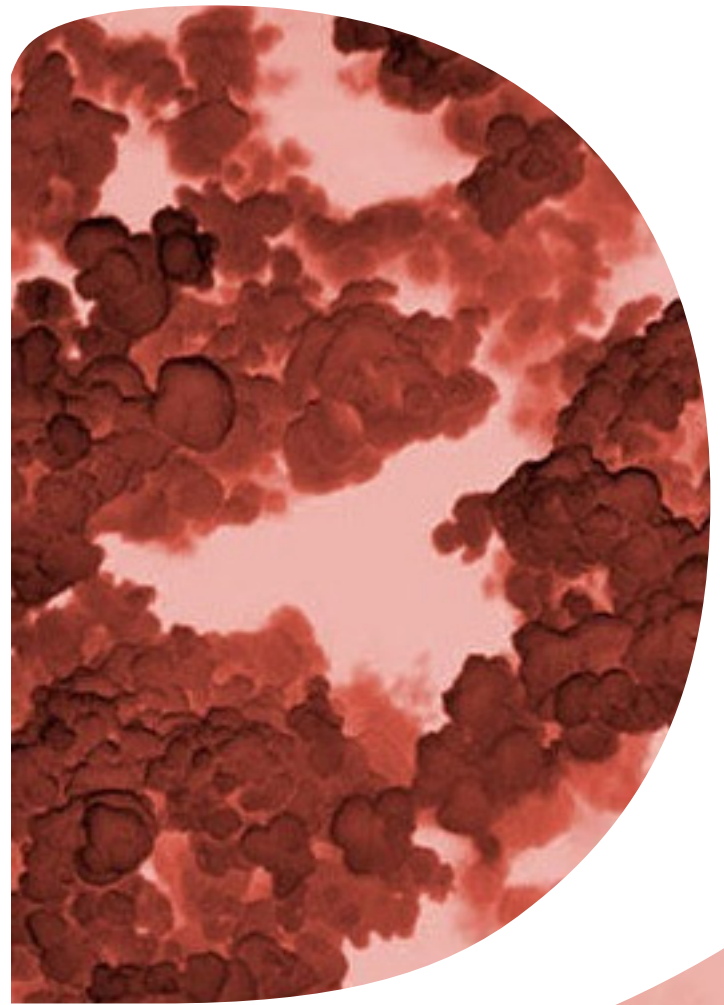
# Contenido

Resumen .....	1
1. Introducción .....	2
2. Situación referencial .....	4
3. Planteamiento del problema .....	10
4. Objetivos .....	12
5. Justificación .....	13
6. Marco teórico .....	14
6.1 Fibras Textiles.....	15
6.1.1 Fibras de Poliester.....	16
6.1.1.1 Obtención de la fibra.....	17
6.1.1.2 Propiedades Físicas .....	17
6.1.1.3 Propiedades Químicas .....	18
6.1.1.4 Ventajas y desventajas .....	18
6.1.1.5 Usos y aplicaciones.....	19
7. Nanotecnología en el área textil .....	20
7.1. Definición de Nanotecnología .....	21
7.2 NANOMATERIALES .....	22
7.3. Nanopartículas metálicas para impermeabilizar .....	24
7.3.1 Métodos de síntesis para la obtención de nanopartículas metálicas.....	25
7.3.1.1. Nanopartícula de plata .....	25
7.3.1.2. Nanopartícula de cobre .....	26
8. Acabados y métodos de impermeabilización de fibras al agua.....	28
9. Software para modelado de fibras textiles e impermeabilidad .....	33
10. Marco Metodológico .....	37
11. Resultados y Conclusiones .....	39
11.1 Fase 1 y 2 .....	39
11.2 Fase 3 .....	40
11.3 Fase 4.....	41
12. Referencias .....	43

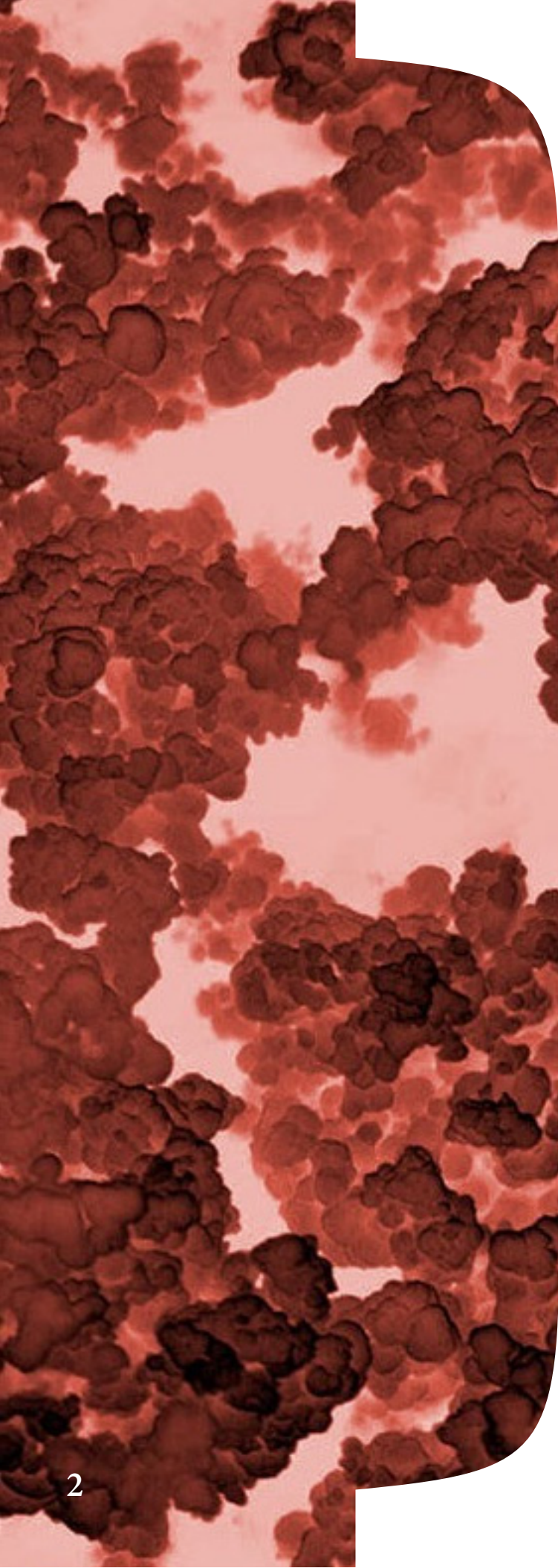
# Resumen

El objetivo general del presente trabajo de grado, fue generar una herramienta para el desarrollo y aplicación de nanopartículas de cobre, aplicadas como recubrimiento hidrófobo y antimicrobiano sobre fibras de poliéster para la construcción de un material textil, para esto se realizó una recopilación teórica sobre fibras textiles, fibras manufacturadas y se enfatizó en las fibras de poliéster. Asimismo, se estudió el área de nanomateriales con énfasis en los metálicos, con un enfoque sobre las nanopartículas de cobre. El uso de los métodos de impermeabilidad al agua planteados potencializara el efecto hidrófobo en las fibras.

**Palabras clave; Aplicación, Antimicrobiano, Herramienta, Hidrófobo, Método, Nanopartículas de cobre.**







# 1. Introducción

El poliéster (PE) se ha elegido como la fibra apta para el desarrollo del proyecto debido a que es una fibra sintética líder a nivel mundial con excelentes propiedades como alta resistencia mecánica y facilidad de reciclaje. Dentro de las características más relevantes del poliéster están, es un material liviano, absorbe muy bien las tintas, presentar colores y estampados más brillantes y también más duraderos que otras fibras; además, tiene una capacidad de recuperación que otras fibras no tienen, por ello, no se arruga. En la industria textil ha sido un elemento importante debido a que se puede combinar con otros materiales tales como rayón, algodón, lana, nylon o viscosa, aumentando la calidad del producto final y permitiendo así, nuevas combinaciones.

Se conoce que el poliéster como fibra tiene la característica de ser semi hidrófobo; sin embargo, al construir un textil con dicho material pierde en gran cantidad sus propiedades de repelencia al agua, esto generalmente sucede por la magnitud del tamaño del textil. Para poder realizar un rollo de material textil de poliéster, este debe pasar por diferentes procesos como hilatura y estampación, procesos que conllevan gran manipulación de la fibra y compuestos químicos sobre ella, incluso cuando se confecciona para hacer las prendas hay gran manipulación del textil, para poder ofrecer al mercado una prenda completamente hidrófoba, como chaquetas impermeables, las grandes marcas realizan un acabado superficial de impermeabilidad, pues bien el que la fibra tenía como característica propia e inicial no es suficiente para que la prenda construida lo sea.

Actualmente, la industria textil y muchas otras, han acogido a la nanotecnología como objeto de solución de problemas similares al mencionado anteriormente, optimización de diversos procesos e innovación. La nanotecnología se puede definir como las dimensiones y tolerancias de menos de 100 nanómetros, especialmente la manipulación de átomos individuales y moléculas.

Además, es importante conocer los nanomateriales existentes con microestructuras moduladas, desde una a tres dimensiones y escala de longitudes menores de 100 nm, resaltando entre ellos las nanopartículas metálicas como oro, plata y cobre, las cuales poseen principalmente características antimicrobianas y, como efecto secundario debido a su morfología, la capacidad de modificar la superficie del material en el que se encuentran. La obtención de nanopartículas es la parte más importante en los procesos de aplicación debido a que a partir de ella se determinan las propiedades requeridas para ella, en este caso, características hidrofóbicas. Los métodos actualmente más usados en la industria son el Bottom up que se trata de partir un material por medio de reacciones químicas y el Top down que implica partir un material macroscópico en pequeños trozos por medios mecánicos. Los acabados superficiales para potencializar el efecto hidrófobo en las fibras incorporando nanopartículas, se pueden realizar a partir de métodos como **EL PLASMA** que es ampliamente utilizado para tratamientos en superficies y ha sido reportado que puede ser usado para modificar las propiedades superficiales de materiales textiles, entre ellas, el incremento de las características hidrófobas, el **mecanismo de la hidrólisis ALCALINA** consiste en sumergir el material en gran cantidad de moléculas

de agua para realizar el proceso conjunto a compuestos alcalino los cuales forman orificios generando una escisión del material, en la cual se incorporan elementos que proporcionan las características hidrófobas. Por otro lado, el **método de deposición física de VAPOR** consiste en depositar sobre una superficie una capa delgada de un material vaporizado el cual transferirá sus propiedades a la superficie en la que se encuentra.

Es importante tener en cuenta que para las industrias la optimización de procesos y la disminución de costos en procesamiento es primordial, para ello, la utilización de softwares como **TexGen, FlowTex y TexComp** para hacer simulaciones del comportamiento de nuevos productos a condiciones específicas.

Por lo anterior, para este trabajo se plantea el desarrollo de una herramienta para el recubrimiento de una fibra textil de poliéster con nanopartículas de cobre con el fin de proporcionarle características hidrófobas el momento de construir el tejido y, adicionalmente, propiedades antibacterianas.x



## 2.Situación Referencial

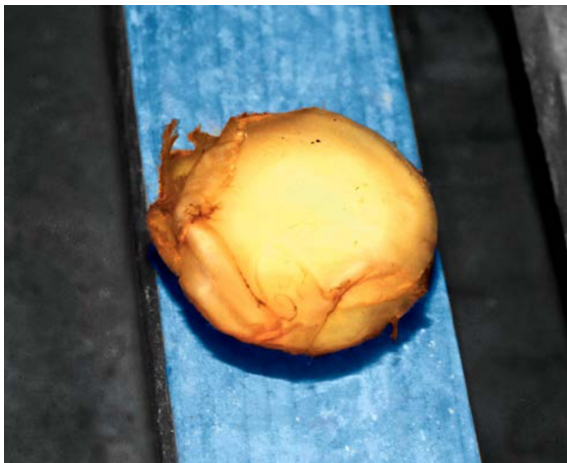
Durante la carrera de diseño de vestuario, he desarrollado diferentes proyectos con énfasis en materiales, los cuales podría llamarlos alternativos en la carrera de diseño de vestuario. Para ello, he dedicado tiempo extra en el estudio e investigación de materiales aplicables no solamente al diseño de vestuario, sino también en accesorios, específicamente para joyería. Además, materias electivas cursadas en la facultad de ingeniería en nanotecnología me han generado el conocimiento para la aplicación y desarrollo de diseños bioinspirados, obteniendo así como proyecto más reciente para joyería , APIS (Fig.1), prendedores bioinspirados basados en la magneto recepción de la abeja Apis melífera, especie influenciada por los campos magnéticos terrestres para facilitar su orientación, estos fueron diseñados digitalmente, impresos en 3d y como material alternativo se les adicionó ferro fluido, en su interior se diseñó un campo magnético que permitió el movimiento natural de este compuesto.





-Figura 1. Prendedores bioinspirados, APIS





Para el área de diseño de vestuario, desarrollé unos apósitos a base de nanocelulosa bacteriana dirigido a boxeadores profesionales, con el fin de acelerar la cicatrización y regeneración del tejido maltratado por entrenamientos o combates. Para una mayor experiencia en el área de materiales y fabricación digital, realicé las prácticas en FAB LAB Barcelona, donde hice parte de diferentes proyectos dirigidos al ámbito textil. Iniciando con biomateriales, se realizó el crecimiento de Kambucha ( hongo machiriano u hongo de té chino) para la obtención de un textil (Fig.2), un biomaterial con características de maleabilidad similares al de un textil sintético, el cual no solo permite generar texturas, sino también volumen y formas tridimensionales; posteriormente, siguiendo la línea de la “eco-moda” y biomateriales, se realiza un textil en bioplástico a base de gelatina vegetal o de cerdo solubilizada en agua, glicerina y leche o jugo de limón en el caso de la gelatina vegetal, estos son denominados polímeros de aminoácidos, es decir, proteínas.

Figura 2. Kambucha como textil

La creación de bioplásticos (Fig. 3) es un mundo muy amplio en cual podría hablarse de la vinculación de la ciencia y moda, formando una especie de “cocina molecular” generando nuevas visiones y productos para un mercado.

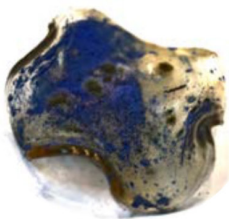
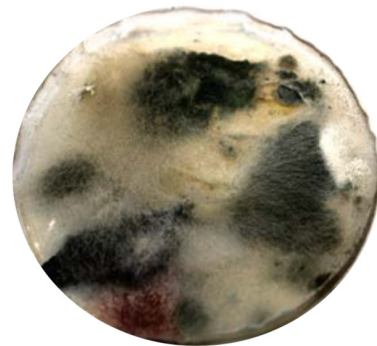
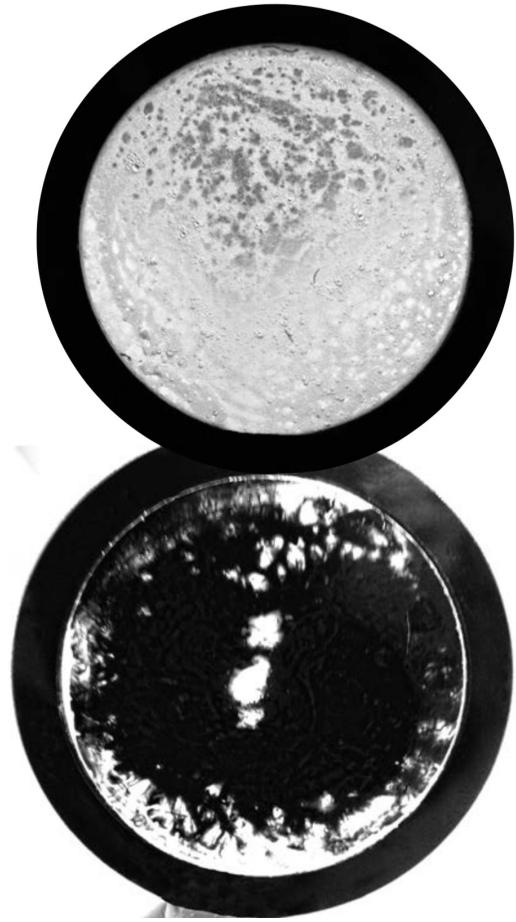


Figura 3. Bioplásticos



También, se abarcó la pigmentación textil con microorganismos, en este caso la bacteria *Janthinobacterium lividum* se siembra en el textil y se incuba a una temperatura específica, la cual al crecer va dejando su rastro en diferentes colores (Fig. 4b); en el mundo de la moda se utiliza como un patrón único, y para una segunda fase, se emplean tintes naturales provenientes de la curuma (Fig. 4a) e hibiscus aplicados en lana y algodón.

**(b)**





Para culminar este capítulo, en el área de electrónica se desarrollaron diferentes sensores para la aplicación sobre prendas, en plataformas conocidas como Arduino y, de igual forma, se incluyeron altavoces en textiles (Fig. 5).



Figura 5. Altavoces en textiles

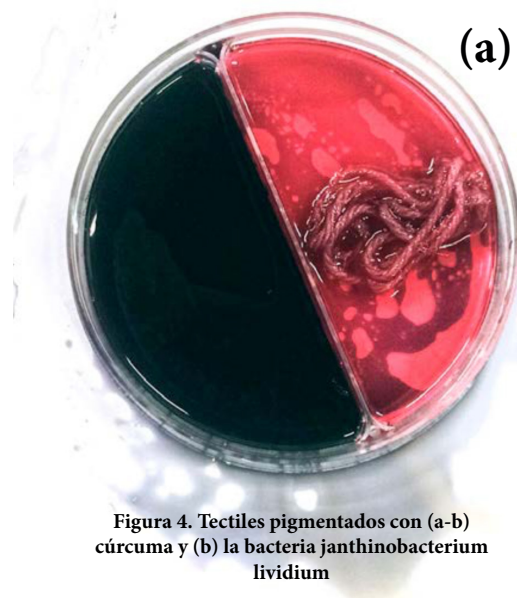
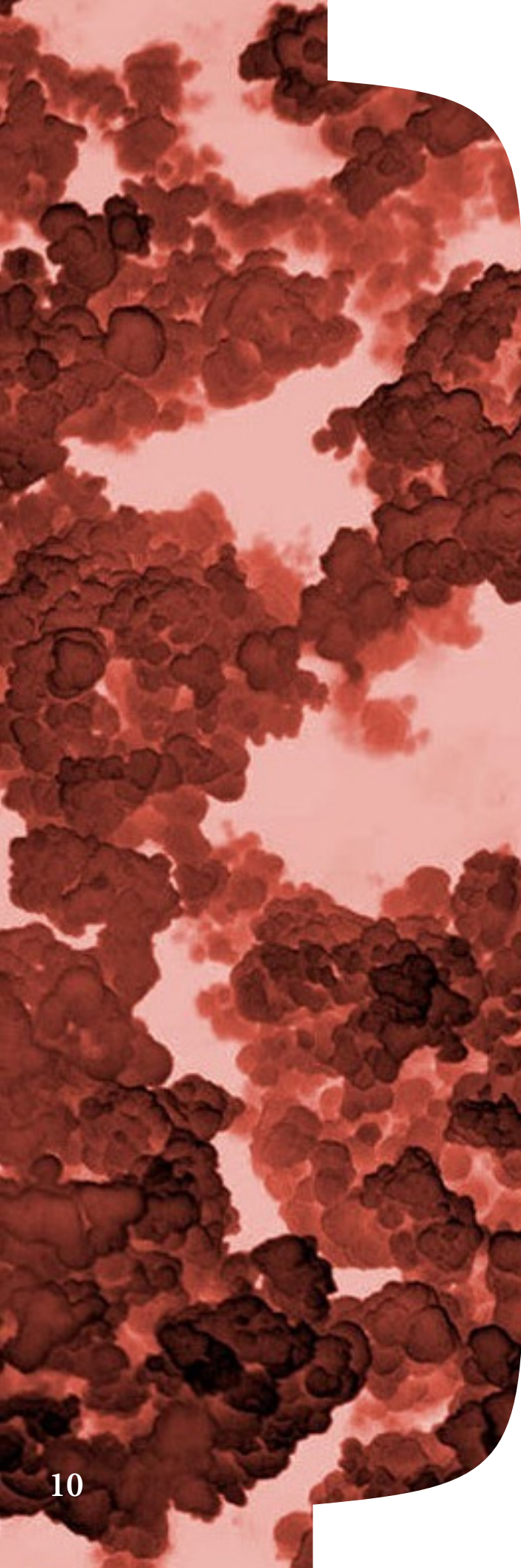


Figura 4. Tectiles pigmentados con (a-b) cúrcuma y (b) la bacteria *janthinobacterium lividium*

Proyectos como estos y algunos otros que conllevan experimentación con materiales y sus componentes me hicieron preguntarme si sería posible reconstruir una fibra con características específicas que solucionara uno de los temas más recientes en el mundo, los cambios climáticos repentinos, pues bien, hoy en día no hay ninguna prenda que se ajuste a dichos cambios, que sea cómoda de llevar o bajo un buen presupuesto económico.





### 3. Planteamiento del problema

El instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (El IDEAM) junto con la universidad Nacional de Colombia, explican en la publicación de La variabilidad climática y el cambio climático en Colombia, como el clima es uno de los factores ambientales que incide en diferentes aspectos del territorio. Se determina que de una manera recurrente o cíclica ocurren anomalías climáticas que impactan en diversa forma y grado los sistemas humanos asentados en un determinado territorio; dichas fluctuaciones que generan estas anomalías se denominan variabilidad climática.

Hemos escuchado al correr de los años como el clima ha ido cambiando paulatinamente, sin embargo el problema que se presencia hoy en día es su cambio repentino, ya no se habla del mes en el

que llueve o en el que hace sol, se habla de las horas, de los minutos o cuan de repente cae una tormenta y al instante estamos sofocados del calor, según un artículo expuesto por la comisión europea La actividad de los seres humanos tiene una influencia cada vez mayor en el clima y las temperaturas al quemar combustibles fósiles, talar las selvas tropicales y explotar ganado, las enormes cantidades de gases así producidos se añaden a los que se liberan de forma natural en la atmósfera, aumentando el efecto invernadero y el calentamiento global.

Es esta una de las razones por las cuales hoy en día tenemos que salir a la calle, al trabajo, a la universidad, al colegio con un abrigo llueva o no, el cual se considera molesto e incómodo de llevar, puesto que usualmente ocupa gran espacio.

Ahora bien, utilizamos los abrigos como un sistema de defensa, nos cubre de la lluvia, no permite que nos haga frío, aquellos que son impermeables permiten que el agua repele, pero, qué tan saludable es? según indicó Emilce Méndez, investigadora de la Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas (FBCB) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y exjefa del Laboratorio Central del hospital “Dr. José María Cullen”, las prendas son potenciales portadoras de microorganismos que pueden infectarnos.

El proceso de impermeabilidad en las prendas consiste en sumergirlas en un compuesto que sella los orificios de los canales del tejido que la componen, es esto lo que genera la repelencia al agua, ahora bien, si estas prendas no permiten el paso del agua entre los canales, está evitando la limpieza de ella a profundidad lo que genera el crecimiento de cultivos

de bacterias dañinas para el ser humano a un largo tiempo. Por otro lado el coste de este tipo de prendas oscila entre los 200.000 pesos colombianos siendo la más económica, su costo va sujeto al proceso de impermeabilidad, por otro lado estamos hablando que solo el 20% de colombianos está dispuesto a pagar este precio por prenda, esto nos da cuenta que culturalmente, que no estamos dispuestos a pagar por estos procesos, según Katherinn Cuervo quien escribe para la página finanzas personales, Bogotá y Medellín son las ciudades con más participación en compras con un 44% y 16% de gasto respectivamente, de acuerdo con el estudio de medición de mercados Nielsen de 2017. Le siguen Cali y Barranquilla con 15% y 7%. Aun así, siendo Medellín una de las ciudades que más moda consume no es posible aumentar la compra en prendas impermeables por su alto costo.



# 4. Objetivos

## General

Generar una herramienta para el desarrollo y aplicación de nanopartículas de cobre, aplicadas como recubrimiento hidrofobo y antimicrobiano sobre fibras de poliéster para la construcción de un material textil.

## Específicos

1. Recopilación de información de primera y segunda fuente para la selección de una fibra de uso textil compatible para proceso de hidrofobicidad.
2. Realizar una propuesta teórica para el desarrollo de nanopartículas de cobre compatibles para la aplicación de hidrofobicidad y característica antimicrobiana en una fibra.
3. Desarrollar una herramienta para la aplicación de las nanopartículas de cobre sobre fibras de poliéster.



# 5. Justificación

El eje de este proyecto gira entorno a los cambios climáticos repentinos, para ello se propone en un primer planteamiento y como primera fase, realizar una herramienta para el desarrollo de fabricación de nanopartículas de cobre aplicadas como recubrimiento hidrofóbico, para un material textil compuesto por fibras poliméricas, con el fin de impermeabilizar desde la fibra y no desde un acabado superficial, se habla de las prendas impermeables como potenciales portadores de microorganismos que pueden infectar al ser humano, la fibra obtendrá nuevas características a partir de la mezcla de componentes, los cuales intervendrán en el desarrollo de microorganismos dañinos a la salud generando no solo un textil hidrófobo, sino también una prenda antimicrobiana.

La fibra que se propone, constituye el tejido que será la base para el textil, al ser la fibra la que porta las características de impermeabilidad al agua, permite entre la trama y la urdimbre espacios u orificios que proporcionan una mayor limpieza de la prenda, eliminado así el llevar prendas extras, como grandes chaquetas que su mayor función es ocupar espacio, ya no existirá la preocupación de si llueve o hace sol, si llevar un abrigo o no.

Es claro que las prendas con características impermeables son costosas; sin embargo, se espera una disminución de costos en el mantenimiento de la prenda y una prolongación de la vida útil de la misma, a partir de la propuesta de construcción de la fibra y método de para hacerla hidrófoba.

## Pregunta investigativa

Según los planteamientos anteriores, ¿Es posible desarrollar una herramienta que contribuya y dirija el procedimiento para el desarrollo de nanopartículas de cobre incrementadas a la superficie de la fibra y genere características impermeables al agua y sea antimicrobiana?

## Hipótesis

Al realizar una herramienta para el desarrollo de nanopartículas de cobre e incrementarlas a la superficie de una fibra tendrá nuevas características tales como ser una fibra 100 % hidrófoba y antibacteriana, al ser la fibra la que porta las características de impermeabilidad al agua, proporciona en el tejido entre trama y la urdimbre espacios u orificios que permiten una mayor limpieza de la prenda al momento de ser lavada, pues bien el agua puede fluir en medio de dichos canales barriendo con las impurezas. Al poder generar un material textil con dichas características se podrá eliminar de nuestra mente y necesidad el llevar prendas extras, como grandes chaquetas que su mayor función es ocupar espacio, ya no existirá la preocupación de si llueve o hace sol, si llevar un abrigo o no.

Es claro que las prendas con características impermeables son costosas; sin embargo, se espera una disminución de costos en el mantenimiento de la prenda y una prolongación de la vida útil de la misma, a partir de la propuesta de construcción de la fibra y método de para hacerla hidrófoba.

## 6. Marco Teórico

Este capítulo abarca una introducción a las fibras textiles y un resumen histórico de las fibras manufacturadas. Además, se presenta un enfoque en las fibras de poliéster y sus características. Posteriormente encontraremos un título sobre nanotecnología en el área textil, y algunas definiciones de nanotecnología como ciencia aplicada, como complemento a esta área se mencionan algunos nanomateriales, dentro de ellos los metálicos, los cuales dan paso a las nanopartículas de cobre y plata. Finalmente, se relatan algunos métodos y acabados que modifican las propiedades de las fibras para hacerlas hidrófobas.

# 6.1 Fibras Textiles

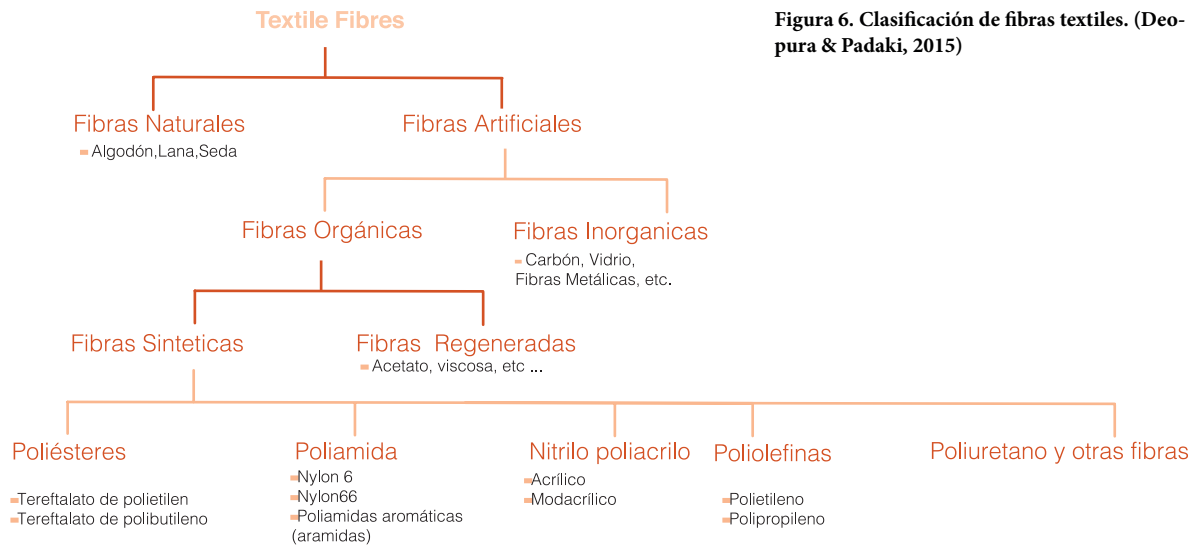


Figura 6. Clasificación de fibras textiles. (Deopura & Padaki, 2015)

Las fibras textiles son unidades de materia cuya longitud es muy superior a su diámetro y se emplean para fabricar tejidos (Palermo, 2009). Estas se pueden clasificar según su naturaleza en dos categorías (Fig. 6). Las naturales comprenden las fibras vegetales (celulósicas) y las animales (protéicas) tales como el algodón y la lana, respectivamente (Villalba, n.d.); y manufacturadas, las cuales pueden ser regeneradas como el acetato, inorgánicas como la fibra de vidrio o sintéticas como el Nylon (Sinclair, 2014).

de la viscosa en 1891 por Cross y Bevan, seguido de la producción del rayón a escala comercial a inicios del siglo XX y la llegada del nylon, el cual fue descubierto por Wallace Carothers en DuPont en la década de los 1930s; por último, el nylon fue seguido por el desarrollo de ICI del poliéster, descubierto a principios de la década de los 1940s por dos científicos británicos que trabajaban para la firma Calico Printers.

Las fibras manufacturadas, en comparación a las naturales tienen un recorrido histórico más corto. Los orígenes de la industria de fibras manufacturadas se remontan a la primera producción comercial de seda artificial utilizando fibras celulósicas por De Chardonnet en Francia en 1892 y el perfeccionamiento del proceso productivo

Desde entonces se ha creado una amplia gama de fibras sintéticas, cada una con características especiales que la hacen adecuada para elaborar un tipo determinado de tejido, sola o mezclada con otras fibras, es por ello que en el mercado han sido mayormente demandadas. La historia de la demanda de fibras en millones de toneladas se muestra en a Fig. 7, y demuestra el papel dominante que el poliéster ha ejercido en el crecimiento de la demanda, la cual sobrepasó a la del algodón en el año 2002, y ha continuado aumentando a una tasa de crecimiento más rápido que todos los otros tipos de fibras (“Fibras Manufacturadas Continúan su Crecimiento | Textiles Panamericanos,” n.d.).

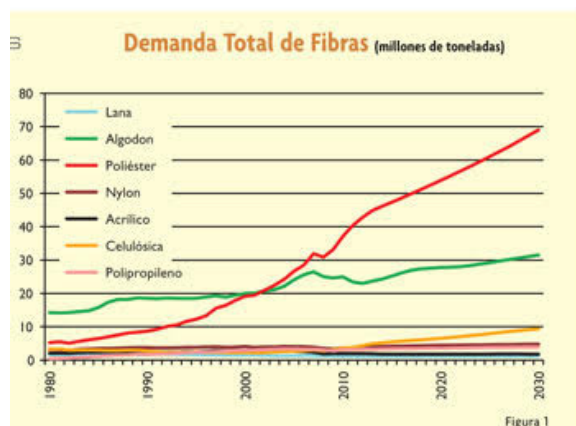


Figura 7. Demanda total de fibras desde la década de 1980 hasta el año 2030. (“Fibras Manufacturadas Continúan su Crecimiento | Textiles Panamericanos,” n.d.)

Es importante conocer que las fibras manufacturadas son diversas familias de fibras producidas a partir de sustancias, que pueden ser polímeros sintetizados, naturales modificados o transformados, o vidrio (Houck & Siegel, 2015). Estas difieren físicamente en su forma, tamaño, propiedades internas y apariencia, en las cuales se destacan las fibras poliamidas, las fibras de poliéster y las fibras de elastómeros. Entre ellas, las fibras sintéticas son aquellas fibras fabricadas que se sintetizan a partir de compuestos químicos (por ejemplo,

nylon, poliéster). Por lo tanto, todas las fibras sintéticas se fabrican, pero no todas las fibras fabricadas son sintéticas. Las fibras sintéticas se forman mediante la extrusión de una sustancia formadora de fibras, llamada dopaje giratorio, a través de un orificio o agujeros en un dispositivo parecido a un cabezal de ducha llamado hilera (Fig. 8) este proceso se llama spinning.

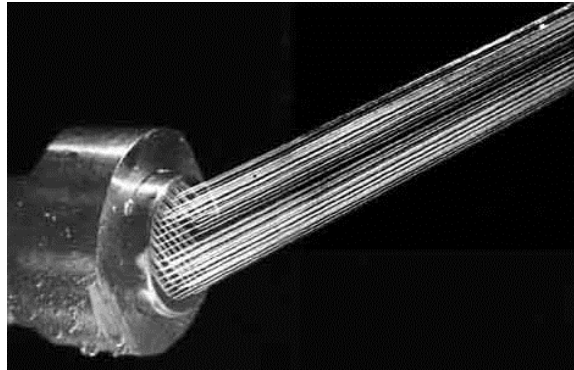


Figura 8. Hilera (Houck & Siegel, 2015).

Dentro de las fibras sintéticas manufacturadas podemos encontrar el poliéster, que es una de las fibras de mayor uso comercial.

## 6.1.1. Fibras de poliéster

Los poliésteres fueron introducidos por primera vez en la década de 1940. El término “poliéster” se aplica a polímeros que contienen grupos éster en su cadena polimérica principal (Deopura & Padaki, 2015), estos se obtienen mediante reacción de etilenglicol y ácido tereftálico para formar un material plástico formado por largas cadenas de moléculas que, fundido, se bombea a través de las hileras y se deja que el filamento se endurezca en el aire frío (Ivester & Neefus, n.d.).

La resistencia química de la tela de poliéster la hace especialmente adecuada para confeccionar prendas protectoras en las operaciones de manipulación de ácidos.

Se pueden clasificar de la siguiente manera:

**I. Poliésteres termoplásticos**, que consisten en polímeros de aplicación de ingeniería, formación de película y formación de fibras tales como PET.

**II. Poliésteres termoestables**, que son básicamente resinas de poliéster insaturado (forma líquida) que al curarse forman estructuras altamente reticuladas (sólidas). Se usan ampliamente como matriz para la preparación de materiales compuestos reforzados con fibra para unir la estructura fibrosa.

Con su excelente comportamiento a la tracción, resistencia a las propiedades de estiramiento y al ataque químico, anticontracción y fácil cuidado, las fibras de poliéster tienden a ser utilizadas en un gran número de aplicaciones tanto en indumentaria como en sectores industriales (Deopura & Textile Institute (Manchester, 2008). Por lo anterior, el poliéster es la fibra preferida en la mezcla para algodón y lana (Deopura & Padaki, 2015). El poliéster está formado por un alcohol que se combina con ácido a una elevada temperatura, este recién formado es fundido y extruido a través de la hilera o tobera para formar largas cintas, para una explicación más afondo entraremos a entender el proceso de:

### 6.1.1.1. Obtención de la fibra

El poliéster se obtiene haciendo reaccionar un ácido con un alcohol y estos reciben el nombre de éster.

Las fibras se hilan por fusión, en un proceso donde las fibras se estiran en caliente para orientar las moléculas y lograr una mejoría notoria en la resistencia y la elongación y en especial en las propiedades de comportamiento bajo esfuerzo .

Después de que el poliéster es sometido a la polimerización, las cintas largas se dejan secar hasta que se vuelven quebradizas, este material se corta en pequeños chips para formar la fibra corta.

Las fibras de poliéster se hilan en fibras cortas, filamento y cable, estas pasan por un extrusor que es donde se transforma, transporta, compacta, se fusiona, se mezcla, se homogeneiza se plastifica y conforma el polímero a utilizar , una vez el poliéster extruido y listo para el uso comercial tiene las siguientes:

### 6.1.1.2 Propiedades Físicas

\*Son muy sensibles a procesos termodinámicos.

\*Es termoplástico, se pueden producir plisados y pliegues permanentes.

\*Es flamable (LOI=20.6).

\*Punto de fusión 250°C.

\*Temperatura recomendada de planchado 135°C.

\*Resistente a manchas, tiene mucho brillo.

\*50% cristalina el ángulo de sus moléculas puede variar.

\*No es absorbente y conserva mejor el calor que el CO y el lino.

\*Resiste a los ácidos álcalis y blanqueadores.

### 6.1.1.3. Propiedades Químicas

\*Buena resistencia a los minerales débiles (a temperatura de ebullición).

\*Se disuelven por descomposición parcial por el ácido sulfúrico concentrado.

\*Excelente resistencia a los agentes oxidantes como: blanqueadores textiles convencionales, resistencia a los disolventes de limpieza.

\*Bajo contenido de humedad, aislamiento eléctrico, la fibra humedad presenta problemas de estática que afecta el proceso de tejido.

\*Se disuelven por descomposición parcial por el ácido sulfúrico concentrado.

\*Son altamente sensibles a bases tales como hidróxido de sodio y metilaminas, esto causa la degradación de enlaces éster (pérdidas de propiedades físicas).

#### Punto de fusión

Es la temperatura a la cual se encuentra el equilibrio de fases sólidos líquidos, es decir la materia pasa de sólido a líquido, se funde el punto de fusión es una propiedad intensiva, mientras cambia su estado la temperatura se mantiene constante. Este resiste al calor, pero no es retardante del fuego, se pega a 440°C. Su punto de fusión es de 256°C

### 6.1.1.4. Ventajas y desventajas

#### VENTAJAS

\*Alta elasticidad para alta estabilidad y forma consistente.

\*Bajo amplificación, la fibra parece lisa y en forma de barra. Usualmente es circular en las zonas transversales.

\*Resiste al estiramiento

\*Extensible y no se arruga fácilmente.

\*No son atacadas por bacterias, moho o polillas.

\*Es más resistente que cualquier fibra a la luz del sol.

#### DESVENTAJAS

\*No puede ser teñido con colorantes normales solubles al agua; se utilizan colorantes dispersos.

\*Afinidad a la tierra, grasa y aceite.

\*Tiene una fuerte carga electrostática, lo que hace que se ensucie rápidamente.

\*Propiedades bajas de absorción de agua y sudor.

\*Tendencia al pilling.



### 6.1.1.5. Usos y aplicaciones

Las fibras de poliéster son 50% cristalinas y el ángulo de sus moléculas puede variar. Sus propiedades son muy sensibles a los procesos termodinámicos. Básicamente el poliéster, a través de modificaciones químicas y físicas, puede ser adaptado hacia el uso final que se le va a dar, como puede ser fibra de ropa, textiles, para el hogar o simplemente filamentos o hilos.

- \*Fabricación de envases para bebidas
- \*Fabricación de vasijas de ingeniería, medicina, agricultura, etc.
- \*Sutura de fijación ósea o para sustituir fragmentos óseos (biomedicina).
- \*Fabricación de juguetes, agentes adhesivos, colorantes y pinturas.
- \*Fabricación de componentes eléctricos y electrónicos.
- \*Fabricación de cintas adhesivas, hilos de refuerzo para neumáticos.
- \*Fabricación de carcasas, interruptores y capacitadores.
- \*Fabricación de pinzas para la industria textil  
(Según su mezcla empleada para la fabricación de tejidos para camisería, para pantalones, faldas, hilos trajes completos, ropa de cama y mesa, género de punto, etc.)
- \*Artículos que no cambien mucho de forma como ropa interior o para ropa exterior ya que tiene que mostrar alta estabilidad y forma consistente.

#### Producción y consumo.

Se produce 8323 kg de poliéster cada segundo en el mundo.  
42 millones de toneladas de poliéster al año, principalmente para la industria textil en comparación con 27 millones de toneladas de algodón, esta claro que el consumo de fibra de poliéster sobrepasa a niveles altos el algodón, al ser la fibra mas asequible y comercial se selecciona para proceder con el desarrollo de la incorporación de nanopartículas, lo que da paso al siguiente capítulo, en el cual se dará una mirada a grandes rasgos como la nanotecnología cada vez esta mas inmersa en el sector textil,





## 7. Nanotecnología en el área textil

La nanociencia es el estudio de los fenómenos y manipulación de materiales a escalas atómicas, molecular y macromoleculares, donde las propiedades difieren significativamente de aquellos a gran escala (European Commission, 2013). La nanotecnología y la nanociencia han emergido como oportunidades para el desarrollo de aplicaciones de materiales en nuevos productos (Tolfree, 2008). Esto ha permitido que la atención esté centrada en la introducción de nanopartículas dotadas de propiedades y funcionalidades que ofrecen a los usuarios beneficios y soluciones a problemáticas frecuentes que un textil convencional no puede resolver (Wing, 2006). De esta manera, por medio de nanopartículas o nanoacabados, se han logrado obtener funciones mejoradas y más complejas para los textiles como acabados hidrofóbicos, superhidrofóbicos, autolimpieza y propiedades antimicrobinas (Gulrajani, 2013).

### 7.1. Nanomateriales

El concepto de NANOTEKNOLOGIA es utilizado para definir ciencias y técnicas aplicadas en una nano escala, lo que refiere a una medida extremadamente pequeña, dicha escala permite manipular las estructuras moleculares y átomos.

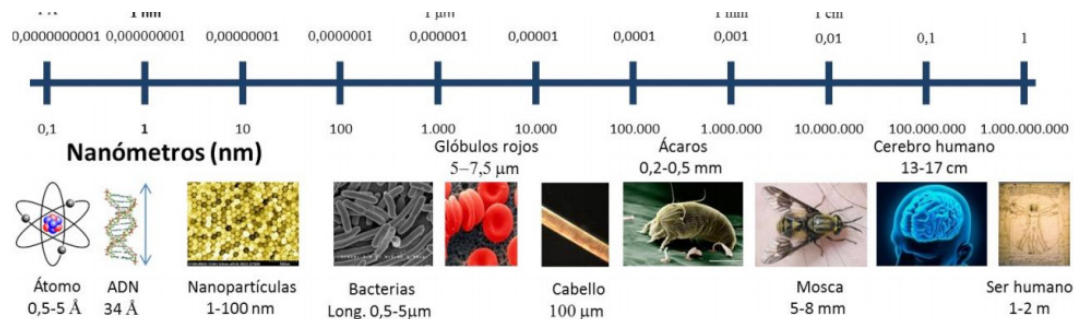


Fig 9. Comparativa de tamaños

Fuente: [www.nanotecnologia.cl/que-es-nanotecnologia/](http://www.nanotecnologia.cl/que-es-nanotecnologia/)

Es posible encontrar diferentes definiciones del concepto Nanotecnología las cuales se mencionan a continuación:

-La nanotecnología trabaja con materiales y estructuras cuyas magnitudes se miden en nanómetros, lo cual equivale a la millonésima parte de un metro. Un nanomaterial tiene propiedades morfológicas más pequeñas que una décima de micrómetro en, al menos, una dimensión; en otras palabras, considerando que los materiales deben tener alto, ancho y largo, una de estas tres dimensiones es menos a la décima parte de un metro dividido en un millón (Pérez et al., 2009)

Según el diccionario de Oxford, la nanotecnología se define como:

“The branch of technology that deals with dimensions and tolerances of less than 100 nanometres, especially the manipulation of individual atoms and molecules”

Lo que en español se podría traducir como, La rama de la tecnología que trata las dimensiones y tolerancias de menos de 100 nanómetros, especialmente la manipulación de átomos individuales y moléculas.

“Nanotechnology is the study of phenomena and fine-tuning of materials at atomic, molecular and macromolecular scales, where properties differ significantly from those at a larger scale. Products based on nanotechnology are already in use and analysts expect markets to grow by hundreds of billions of Euros during this decade”

(“History of technology”, 2016)

Según las anteriores definiciones y algunas más encontradas, se puede definir que un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro. Un nanómetro es algo así como una canica a la Tierra, diez mil veces más delgado que un cabello humano. Otra comparación: en un nanómetro sólo caben diez átomos de hidrógeno.

En la figura 9 se muestra una comparativa de tamaños con diferentes ejemplos que pueden aclarar a que escala se encuentran los materiales nanométricos.

Una vez visualizada la escala en la que a partir de este momento se empezara a trabajar es importante conocer los diferentes nanomateriales que existen hoy en día en el mercado, de igual forma es relevante entender las clasificaciones por las cuales se caracterizan.

## 7.2. Nanomateriales

Los nano materiales pueden tener diferentes tamaños, formas, naturaleza química y diferente procedencia.

Su procedencia puede ser natural, que son aquellos producidos por árboles, plantas, volcanes, espumas marinas entre otros, pueden ser también Incidental que son aquellos producidos por la combustión en vehículos, en procesos industriales, o en procesos de combustión. (se entiende como material incidental, los nanomateriales productos de otros procesos , que se sabe que se producen , que existen , pero no se utilizan ni se controlan , simplemente son el producto de otro proceso, por ejemplo en las fábricas de manipulación de sustancias químicas y finalmente , Artificial (sintética): producidos por diversos procesos de fabricación: top-down /bottom-up “ Cornejo L.,2015”

### Clasificación por su naturaleza química

Los nano materiales pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica.

Orgánicos	Inorgánicos
· Fullerenos	· Quantum dots (puntos cuánticos),nanocristales
· Grafeno	· Nanocables (nano wires)
· Nanotubos de carbono	· Nanovarillas (nano rods)
· Coloides orgánicos	· Nanotubos inorgánicos
· Nano partículas poliméricas	· Nanofibras
· Negro de humo (carbón black)	· Coloides silíceos, aluminosos
· Lípidos	· Nanoagrupación (nano cluster) $d=0,1-10$ nm
· Nano partículas: lípidos, proteínas, ADN	· Nano partículas de oro, plata, platino, cobre, aluminio
· Nanofibras poliméricas	· Nano partículas de óxidos metálicos: $Al_2O_3$ , $Cu_2O$ , $TiO_2$ , $SiO_2$ , $ZrO_2$ , $Fe_2O_3$ , $Fe_2O_4$ , $ZnO...$
· Nanocristales de celulosa (CNC5) y celulosa nanofibrilar (NFC)	· Nanoarcillas: metacaolín
	· Nanosilice; $d=10-50$ nm
	· Nano partículas de aluminio
	· Nano nitruros y carburos de silicio, titanio, circonio

### Clasificación por sus dimensiones

Los nano materiales pueden presentar una amplia variedad de formas: esférica, cilíndrica, elipsoidal, tubular, helicoidal, arracimada, campaniforme, arrecifal, dendrítica, en forma de zig-zag o en forma de caja o de jaula. El control de la morfología de las nano partículas es muy importante cuando se quieren obtener unas propiedades adecuadas, principalmente, en aplicaciones ópticas y en la fabricación de dispositivos magnéticos.

Las dimensiones espaciales de las nano partículas son muy variables y de una gran influencia en sus propiedades. Atendiendo a su aspecto dimensional, pueden ser clasificadas en cuatro grupos: “ Cornejo L.,2015”

Estructura	Definición	Nano Materiales Cuánticos
Cero Dimensional (0D)	Las tres dimensiones (x,y,z) <100 nm. Los electrones están confinados en las tres dimensiones	<p>Nano partículas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Fullerenos</li> <li>· Partículas coloidales</li> <li>· Puntos cuánticos (Qdots)</li> <li>· Nanoclusters</li> <li>· Algunos ADN, virus, proteínas</li> <li>· Átomos, moléculas</li> <li>· Nano partículas de Au y Ag</li> </ul>
Uni Dimensional (1D)	Dos dimensiones <100nm. Los electrones están confinados en dos dimensiones	<p>Nanocables</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Nanotubos</li> <li>· Nanofibras</li> <li>· Nanovarillas</li> <li>· Fibras poliméricas</li> <li>· Nanocampanas</li> </ul>
Bi-Dimensional (2D)	Una dimensión <100nm. Los electrones están confinados en una dirección	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Monocapas</li> <li>· Nanorecubrimientos</li> <li>· Películas poliméricas (nano)</li> <li>· Superficies con espesor &lt; 100 nm</li> <li>· Películas multicapa</li> </ul>
Tri-Dimensional (3D)	Ninguna dimensión <100nm. Los electrones no están confinados y pueden moverse libremente	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Materiales nanoestructurados</li> <li>· Policristales</li> <li>· Nanobolas</li> <li>· Nanobobinas· Nanoflores</li> </ul>

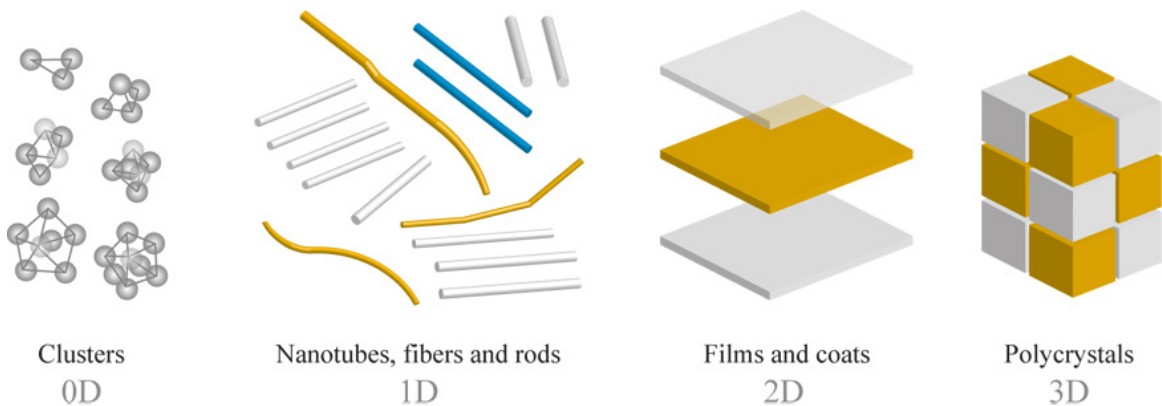


Fig.10 . Dimensión de nanomateriales.  
Fuente: Nuevas tecnologías y materiales .



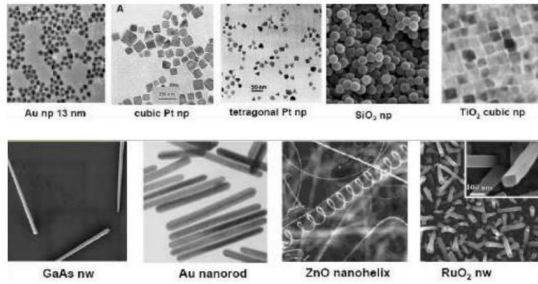


Figura 11. Ejemplos de distintos nanomateriales (Gonzales Jaime, 2017).

Algunas de las partículas más utilizadas en los campos industriales son las que se encuentran en la dimensión (0D) mencionada anteriormente, en ella se encuentran las nanopartículas metálicas explicadas a continuación.

## 7.3. nanopartícula metálicas para impermeabilizar

Las nanopartículas o nanocristales de metales han sido ampliamente estudiadas debido a que poseen excelentes propiedades ópticas, mecánicas, eléctricas, magnéticas, y químicas. Estas propiedades son generalmente producto la gran área superficial que poseen las nanopartículas por la reducción de tamaño. Los materiales reducidos a tamaño 8 nanométrico exhiben un comportamiento y propiedades muy diferentes a las propiedades en su estado macroscópico, por ejemplo sustancias opacas como el cobre se vuelven transparentes en estado nanométrico, materiales inertes como el oro y platino adquieren propiedades catalíticas, materiales estables como el aluminio cambian a combustibles, y materiales como la plata que tiene efectos bactericidas en estado macroscópico, aumentan su potencial bactericida cuando se presentan en estado nanométrico.

Recientemente las nanopartículas metálicas han resultado ser muy atractivas para su desarrollo comercial debido a las propiedades antes mencionadas, por lo que se ha incrementado su producción en diferentes industrias como la aeronáutica, agrícola, alimenticia, automotriz, biomédica, cosmética, farmacéutica, informática, textil, entre otra (Almendáres, et al., 2011).

Metales como el oro, plata, paladio y cobre, son empleados para la fabricación de nanopartículas de diferentes formas y tamaños. Las técnicas y condiciones al momento de realizar la síntesis de las nanopartículas influyen directamente en la morfología y propiedades físico-químicas de estas. Usualmente, las nanopartículas tienen como efecto secundario la hidrofobización de la matriz en la que se encuentran. Para corroborar este efecto, se recurre a la técnica de caracterización ángulo de contacto, la cual nos permite evidenciar la mojabilidad de una superficie respecto a una sustancia específica donde si la sustancia es atraído fuertemente por la superficie (por ejemplo, agua sobre un sólido hidrófilo) la gota se extenderá completamente por el sólido y el ángulo de contacto será aproximadamente  $0^\circ$ ; en cambio, si la gota forma un ángulo mayor de  $90^\circ$  se puede decir que la superficie es hidrófoba. (Díaz C, 2011).

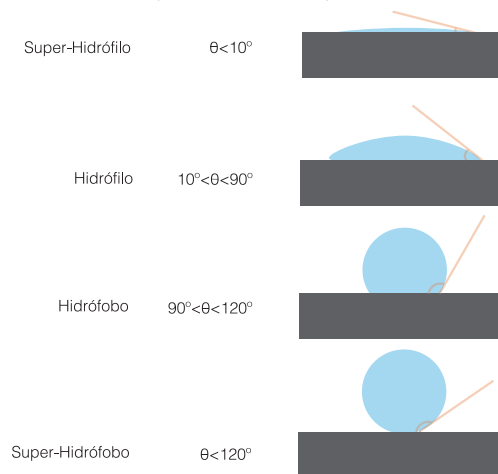


Fig 12 Explica. Angulo de contacto.

## 7.3.1. Métodos de síntesis para la obtención de nanopartículas metálicas

- TOP DOWN
- BOTTOM UP

La vía TOP DOWN implica partir de un material macroscópico y romperlo en pequeños trozos por medios mecánicos, químicos u otras formas de energía para reducir su tamaño hasta la escala nanoscópica. Estos procesos suelen llevarse a cabo en atmósfera inerte o en condiciones de vacío.

Las partículas presentan una elevada reactividad, debido a su gran área superficial. Entre las técnicas de síntesis de nanomateriales TOP DOWN se encuentran:

- Molienda mecánica
- Electro-explosión
- Detonación controlada (CDS) Controlled Detonation Sintesis
- Deposición en fase vapor (PVD) Phase Vapour Deposition, con sus diferentes variantes.
- Condensación en fase vapor (Inert Gas Condensation)

En la vía BOTTOM UP se trata de partir de material atómico y molecular para sintetizar los nanomateriales, por medio de reacciones químicas que permitan a estas partículas precursoras crecer en tamaño. Habitualmente, estos métodos emplean como precursor un compuesto órgano metálico. Entre los métodos de síntesis de nanomateriales BOTTOM UP se pueden citar:

- Proceso sol-gel o síntesis húmeda (wet chemistry)
- Deposición química en fase vapor (CVP) Chemical Vapour Deposition

- Combustión Chemical Vapor Condensation (CCVC)
- Síntesis electroquímica de arriba hacia abajo (Top Down), y de abajo hacia arriba (Bottom Up) (Rao 2004; Schmid 2004)

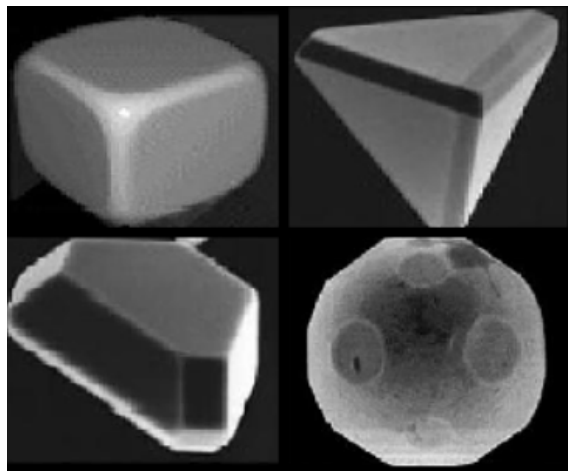


Figura 13. Nanopartículas con diferentes Morfologías (Ibarra Jaime, 2014).

Algunas nanopartículas se pueden obtener de los procesos descritos anteriormente, tales como las nanopartículas de metal, las cuales se entraran a discutir en la siguiente sección:

### 7.3.1.1. Nanopartícula de plata

Las nanopartículas de plata se aplican en el desarrollo de materiales poliméricos con el fin de proveer propiedades antibacterianas, hidrofobicas y, en algunos casos, antifúngicas, antimoho. La plata posee un número atómico de 47 y su masa atómica es de 107,84 g.mol<sup>-1</sup> y su punto de fusión es a 962 °C y el de ebullición es de 2212 °C. En estado puro es un metal bastante suave, siendo su dureza de 2,5 a 3 en la Escala de Mohs. Su color es blanco y al pulirse adquiere un lustre brillante capaz de reflejar el 95% de la luz. Posee una densidad que es 10,5 veces mayor a la del agua.

## Propiedades antimicrobianas

La reducción de tamaño de la plata a escala nanométrica provoca un aumento significativo en su potencial antimicrobiano, debido a que las nanopartículas presentan mayor área superficial en relación al volumen que la plata en tamaño volumétrico. Por lo tanto, es evidente que la actividad o potencial antimicrobiano de las nanopartículas de plata, depende fuertemente del tamaño y la forma de la partícula.

Como se mencionó anteriormente el tamaño y forma de las nanopartículas de plata influyen considerablemente en su potencial antimicrobiano; algunas investigaciones indican que nanopartículas con un tamaño entre 1 y 10 nm tiene un alto porcentaje de interacción con las bacterias, mientras que nanopartículas con un tamaño aproximado de 25 nm poseen alta actividad antimicrobiana (Morones et al 2005 y Panacek et al 2006).

Por otro lado, según Ibarra, “se indica que nanopartículas de plata con forma triangular tienen un mayor efecto antimicrobiano comparado con las de forma esféricas y cilíndricas; esto puede asociarse a que las nanopartículas triangulares presentan planos cristalinos preferentes, en los cuales se ha comprobado que existe una mayor densidad atómica lo que favorece su actividad antimicrobiana.” (2014).

### 7.3.1.2. Nanopartícula de cobre

Las partículas de cobre en una nanoescala han adquirido una gran importancia entre

los investigadores debido a su abundancia y su menor coste de producción en comparación a los metales como la plata y el oro.

El cobre (Cu) de número atómico 29 de masa atómica 63.546 g/mol-1 y su punto de fusión es a 1085 °C y el de ebullición, 2562 °C.

Se debe tener presente que las nanopartículas de cobre no se pueden usar directamente debido a que se oxidan fácilmente. Sin embargo, se deben recubrir con una delgada capa de plata así permanecen estables por mucho tiempo. Actualmente, para reducir el precio de la producción estas se estabilizan con polímeros, carbono o sílice. En la actualidad se vienen desarrollando diversos estudios de las nuevas propiedades de las nanopartículas de cobre, uno de los cuales están orientados a lograr su estabilidad, puesto que las nanopartículas de cobre, se aglomeran rápidamente entre sí y son muy sensibles al oxígeno del medio ambiente perdiendo así muchas veces sus propiedades bactericidas.

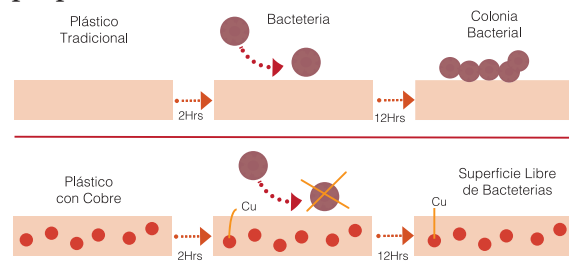


Figura 14. Secuencia de actuación de las nanopartículas de cobre (Gonzales Jaime, 2014).

El cobre es un elemento del bloque D, período 4. Es un metal dúctil con muy alta conductividad térmica y eléctrica. La morfología de las nanopartículas de cobre es redonda, y lucen como un polvo marrón a negro (“nanopartículas de cobre”,2016).



Las aplicaciones más importantes de nanopartículas de cobre se enumeran a continuación:

Actúa como agente antibiótico, antimicrobiano, hidrofóbico y antifúngico cuando se añade a plásticos, revestimientos y textiles.

Metales y aleaciones de alta resistencia. Blindaje EMI.

Disipadores de calor y materiales altamente conductores térmicos.

Catalizador eficiente para reacciones químicas y para la síntesis de metanol y glicol.

Como aditivos de sinterización y materiales de condensadores.

Las tintas y pastas conductoras que contienen nanopartículas de Cu pueden utilizarse como sustituto de metales nobles muy caros utilizados en electrónica impresa, pantallas y aplicaciones de película delgada conductora transmisiva.

Tratamiento de revestimiento conductivo superficial de metales y metales no ferrosos.

Como aditivos lubricantes nanométricos.

Como se ha mencionado anteriormente las nanopartículas de cobre poseen como efecto principal características antimicrobianas y como efecto secundario la hidrofobicidad, para potencializar el efecto hidrófobo en las fibras se puede incorporar las nanopartículas mencionadas anteriormente, a partir de los métodos que se relatan en la siguiente sección

## Propiedades químicas

Las propiedades químicas de las nanopartículas de cobre se describen en la siguiente tabla:

Simbolo Quimico	Cu
N°CAS	7440-50-8
Grupo	11
Configuración Electrónica	(Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>

## Propiedades físicas

Las propiedades físicas de las nanopartículas de cobre se dan en la siguiente tabla

Densidad	8,94g/cm <sup>3</sup>
Masa Molar	63,55g/mol

## Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de las nanopartículas de cobre se presentan en la siguiente tabla:

Punto de fusión	1.083°C
Punto de ebullición	2.567°C

# 8. Acabados y métodos de impermeabilización de fibras al agua

La repelencia al agua es un término relacionado con la capacidad de una superficie para resistir la humectación. En comparación, la impermeabilidad al agua se da cuando no se permite el paso a un fluido. En otras palabras, cuando se tiene una prenda repelente al agua, la protección contra esta sustancia no se completa bajo una alta presión hidrostática y el usuario se mojará en un aguacero cuando la presión hidrostática es lo suficientemente alta; en cambio, con prendas impermeables al agua, el usuario no se mojará sin importar la presión hidrostática. Adicionalmente, es importante resaltar que los acabados hidrófobos también se pueden aplicar al material con el fin de lograr la barrera bacteriana requerida.

## Principios y proceso de recubrimiento textil.

El recubrimiento es un proceso diseñado para depositar una capa de material sobre la superficie de un sustrato. Los materiales de recubrimiento textil más convencionales son fluidos o precursores de fluidos (i.e. solid powders). Es importante conocer que tanto la formación de película de los materiales de recubrimiento como la unión al sustrato son necesarios para lograr un recubrimiento de calidad. El proceso de recubrimiento se puede exponer en tres pasos: la medición controlada de la cantidad de material de recubrimiento que se aplica al sustrato; en el proceso de transferencia, el material de recubrimiento se deposita en el sustrato



y forma una capa de recubrimiento, hay que resaltar que la formación y penetración de las capas de revestimiento en el sustrato se efectúa por la humectabilidad, la reología del líquido de recubrimiento y la técnica de aplicación de recubrimiento utilizada, por lo general, la etapa final del proceso de recubrimiento es la fijación, donde las capas de recubrimiento transferidas y medidas se fijan al sustrato mediante secado, curado o solidificación.

Se ha desarrollado una variedad de técnicas de recubrimiento para adaptarse a una amplia gama de materiales y sustratos (Shim, 2010), la técnica de recubrimiento más simple es el recubrimiento por inmersión o saturación, donde el tejido, se sumerge en un baño de líquido de recubrimiento para recoger dicho material. En este método, la cantidad de material de recubrimiento aplicado no se mide, pero se controla mediante la hidrodinámica y la reología de la solución.

La mayoría de los otros métodos de recubrimiento utilizan dispositivos de medición para controlar el espesor del recubrimiento. Por ejemplo, el **recubrimiento con cuchilla** utiliza una cuchilla dosificadora para controlar el espesor del recubrimiento; en este proceso, el recubrimiento del material se aplica al sustrato y el exceso se elimina con una cuchilla dosificadora. También se conoce el **recubrimiento de la barra medidora**, el cual es similar al recubrimiento con cuchilla, pero una varilla dosificadora (también llamada varilla aplicadora o barra mayer) es utilizada para controlar la cantidad de material de recubrimiento aplicado.

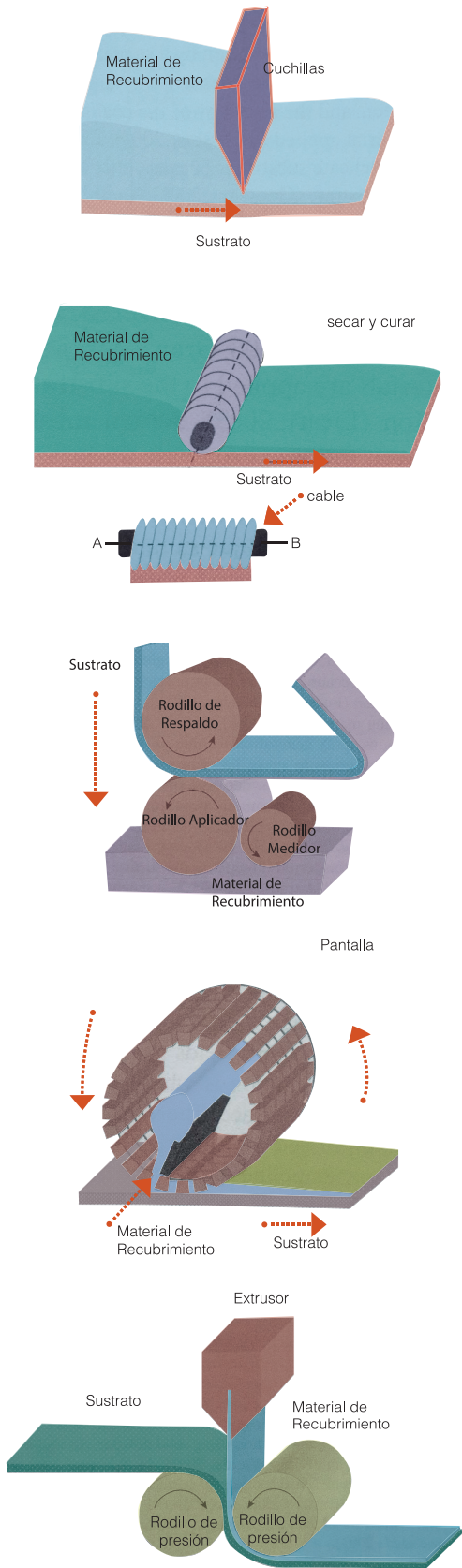
Por otro lado, el **recubrimiento con rodillo** es una técnica de recubrimiento premedida y el uso de rodillos para medir el material

de recubrimiento sobre un sustrato; además, utiliza diferentes números de rollos y tipos de rollos, por lo general, se utilizan de uno a cuatro rollos en diversas configuraciones.

**El revestimiento de la pantalla** es un proceso en el que los materiales de revestimiento se aplican al sustrato a través de una pantalla de malla mediante un movimiento de compresión (licari, 2003). El número de malla de la pantalla, la presión de compresión, el ángulo entre la hoja de compresión, la pantalla y la reología del líquido de recubrimiento afecta la cantidad de material de recubrimiento aplicado (Goossens, 2001). Esta es una buena técnica para sustratos ligeros y delicados, ya que poco o no se impone fricción ni tensión sobre el sustrato. En cambio, en el **recubrimiento extrusión**, el polímero fundido se extruye mediante una bomba extrusora a través de un troquel y un depósito sobre el sustrato. En la mayoría de los sistemas, hay un espacio entre el troquel y el sustrato, donde los polímeros extruidos son autosuficientes. la adhesión puede mejorarse pasando la capa de recubrimiento depositada y el sustrato a través de un rodillo de presión (E.SHIM.,2013).

En la industria existen otros métodos de tratamiento de superficie, que se han adaptado con éxito para darle una mejor funcionalidad a las superficies textiles, como se explicó anteriormente. Estas técnicas tienen la capacidad de introducir diversos materiales inteligentes en estructuras textiles y ofrecen ventajas en cuanto a su disponibilidad industrial.

A continuación, se discuten varios métodos que no se utilizan convencionalmente en la modificación de la superficie textil a nivel industrial, pero que tienen potencial para aplicaciones avanzadas.



15 . FIG. Esquema de varios métodos de recubrimiento

En varias industrias EL PLASMA es ampliamente utilizado para tratamientos en superficies y ha sido reportado que puede ser usado para modificar las propiedades superficiales de materiales textiles, entre ellas, el incremento de las características hidrófobas en estos. Comúnmente, se le refiere al plasma como el cuarto estado de la materia, después del sólido, líquido y gas. Además, se ha reconocido que el tratamiento por plasma es un posible sustituto para varios procesos húmedos que consumen gran cantidad de agua y energía (Shim, 2013) y puede ser utilizado como método de modificación de superficie para mejorar la unión de materiales de acabados hidrófobos en la superficie, como lo relata Mahltig; también, puede utilizar monómeros con propiedades hidrófobas y una presión de vapor lo suficientemente alta para la polimerización de plasma y así generar superficies hidrófobas (Hegemann y Fischer, 2004).

Es importante resaltar que el plasma es un tratamiento altamente específico para la superficie y no altera las propiedades del sustrato; sin embargo, el tratamiento con plasma debe controlarse cuidadosamente para evitar la acción perjudicial del plasma sobre el sustrato. Las reacciones generales que deben lograrse mediante el tratamiento con plasma son la oxidación de la superficie de un material, la generación de radicales y el borde de la superficie; Cuando se usan gases especiales, puede ocurrir una polimerización por deposición inducida por plasma. Para el tratamiento de textiles, esto significa que se puede lograr tanto la hidrofiliación como la hidrofobización; además, tanto la química de la superficie como la topografía de la superficie pueden influirse para dar como resultado propiedades mejoradas de adhesión o repelencia, así como en el confinamiento de

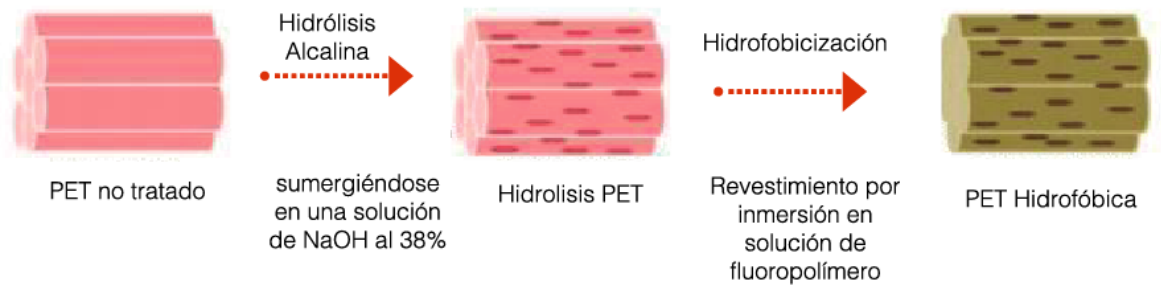


Figura 16. Esquema del procedimiento experimental de la hidrofobización de una fibra de poliéster mediante hidrólisis alcalina. (Seon Han et al., 2015)

grupos funcionales a la superficie (Höcker, 2002).

Debido a que el tratamiento con plasma requiere un equipo especial, este método tiene limitaciones en la producción en masa y la durabilidad del revestimiento de la superficie. En cambio, la hidrólisis alcalina, un tratamiento para producir cambios físicos y químicos a través de la hidrólisis de tejidos de poliéster en condiciones alcalinas, es un método simple con aplicaciones versátiles, el cual es utilizado en la industria textil como un tratamiento de superficie a gran escala. El mecanismo de la hidrólisis ALCALINA se ha estudiado ampliamente para encontrar que una base fuerte provoca la escisión de los enlaces éster en las superficies de las fibras, lo que lleva a la formación de nano-cráteres (Fig. ) con grupos extra funcionales como los grupos hidroxilo y carboxilasa. Los poliésteres hidrolizados alcalinos lograron con éxito una humectabilidad mejorada, capacidad de teñido, lustre y mango similar a la seda. A pesar de estas ventajas, actualmente faltan estudios sobre el desarrollo de telas superhidrofóbicas mediante hidrólisis alcalina (Seon Han et al., 2015).

Adicionalmente, hay algunos tratamientos los cuales se realizan a partir de la deposición de una película delgada como la deposición física de vapor (PVD) y la deposición de capa atómica (ALD). Aunque estos métodos no son comúnmente

utilizados, son importantes debido a que hacen posible la incorporación de materiales no convencionales en sistemas textiles y permiten la creación de nanocapas y nanotelas (Shim, 2013).

La deposición química de VAPOR (PVD, por sus siglas en inglés), consiste en la liberación del material recubierto del objetivo fuente y la transferencia a la superficie del objeto revestido y crea una película delgada (Fig. 16). El recubrimiento de PVD se puede realizar de diversas maneras: Arco, Sputtering, Evaporación al vacío, cattering catódico, Magnetron sputtering (Vančo, Krmela, & Pešlová, 2016).

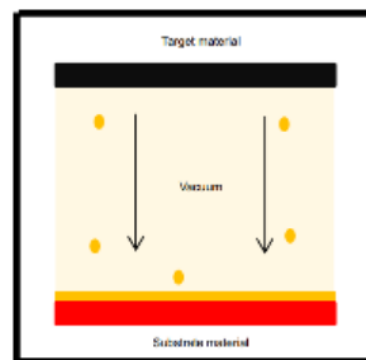


Figura 17. Esquema de PVD. (Vančo, Krmela, & Pešlová, 2016).

Por otro lado, la deposición de capa atómica (ALD) es otra técnica de deposición de película en fase de vapor que puede crear depósitos de conformación delgada mediante reacciones superficiales autolimitadas y secuenciales. Los precursores de película en fase de vapor reaccionan solo con el sitio de reacción disponible y no se produce más reacción después de que la superficie se satura, por lo que la velocidad de crecimiento de la película es independiente de la cantidad de precursor disponible.

Esta técnica presenta la ventaja del control del grosor de la monocapa, la producción de interfaces agudas, la uniformidad a lo largo del área, entre otras (Shim, 2013). Uno de los procesos más utilizados es el de SOL-GEL, éste puede resumirse en dos etapas con características físico-químicas muy diferentes. La etapa inicial consiste en la obtención de una suspensión coloidal estable (sol), a partir de un precursor.

Estos, son típicamente óxidos de metales o de Silicio y/o alcóxidos de metal o de Silicio. La etapa posterior deviene de la desestabilización del sol que llevará a la condensación de los monómeros/ oligómeros en suspensión, para dar lugar a la formación de un polímero inorgánico.

Dadas las propiedades físicas y químicas de los compuestos usados este polímero tiene las características de un gel con resistencia mecánica.

También, EL EFECTO DE LA FLOR DE LOTO ha sido fuente de inspiración y de estudio para la proporción de características hidrófobas a superficies, donde la rugosidad jerárquica de la superficie de varios tamaños permite que se forme una cámara de aire entre la gota de agua y la textura de la superficie, lo que facilita que la gota de agua se deslice fácilmente. La deposición de fibras con materiales nanoestructurados o la modificación física de la superficie de la fibra es un enfoque común para proporcionar rugosidad en la superficie nanométrica. Se pueden aplicar métodos de nano acabado comunes tales como síntesis in situ y ex situ, nano-recubrimientos, incluyendo sol-gel, deposición capa por capa (LBL), deposición química de vapor (CVD) y polimerización de injerto para impartir las propiedades repelentes (Li et al., 2017).

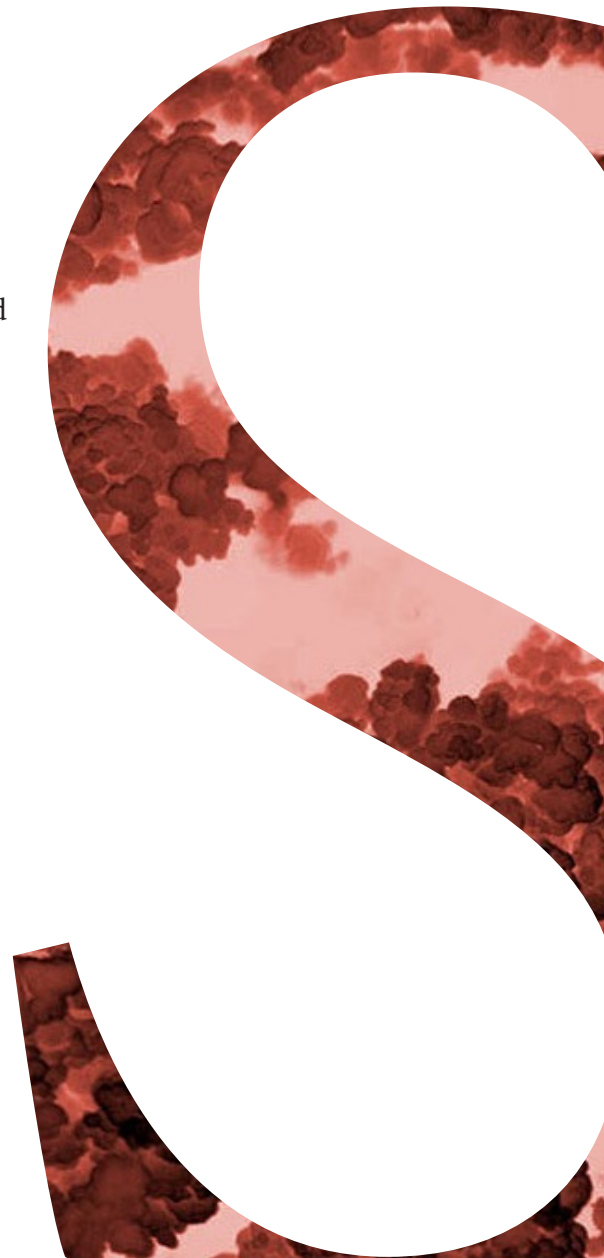
Una vez expuestos los métodos más acertados para la impermeabilidad se plantean algunos softwares en los que puede llevarse a cabo la simulación computarizada de la fibra con su respectivo recubrimiento en un ambiente real.



# 9. Software para modelado de fibras textiles e impermeabilidad

Dadas las muchas combinaciones posibles de materiales y textiles, es beneficioso poder modelar los procesos puesto que al realizar simulaciones es posible predecir las propiedades de fabricación y el rendimiento final del material. Un entorno de "prueba virtual" puede llevar ahorros significativos en términos de tiempo, materiales y costos de diseño.

Durante varios años, la Universidad de Nottingham ha desarrollado el software TexGen, una herramienta para generar una representación geométrica realista de textiles que se utiliza como procesador para simulaciones. El software utiliza un enfoque de modelado cinemático basado en la definición de líneas de centro de hilo con secciones transversales especificadas a lo largo de la longitud del hilo. Los textiles se caracterizan mediante microscopía o imágenes  $\mu$ CT (microtomografía computarizada) y se identifican características geométricas que luego se integran en TexGen. Este enfoque tiene la ventaja de generar modelos rápidamente sin un conocimiento previo de las propiedades mecánicas del material (Aragon, 2017).



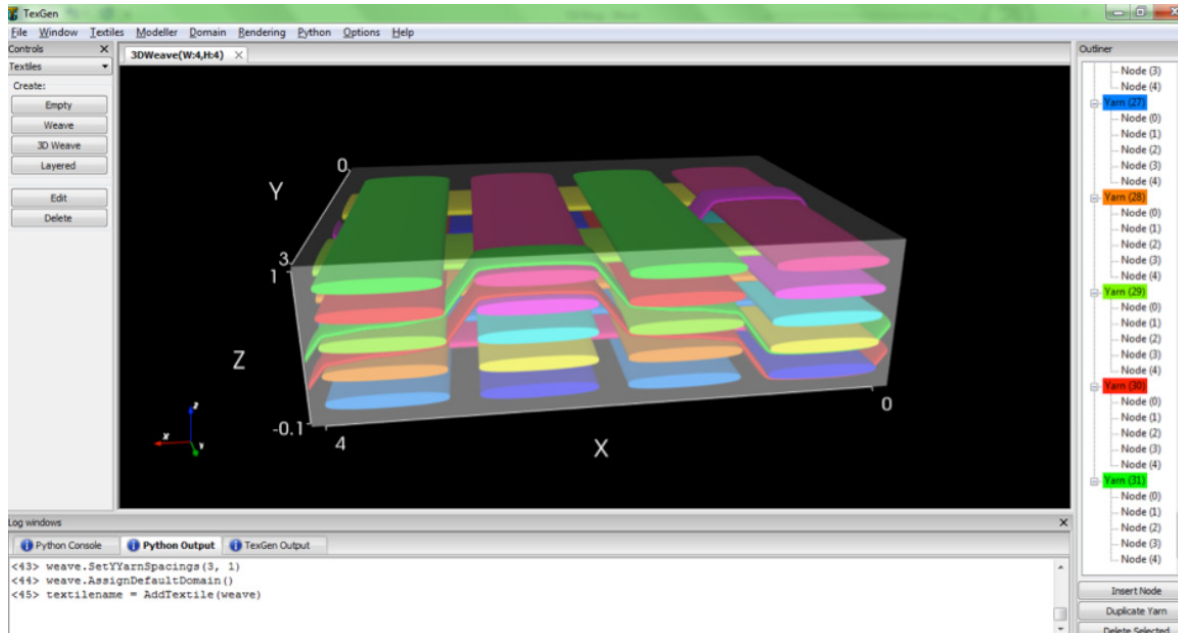


FIGURA 18. Modelo generado sin un conocimiento previo de las propiedades mecánicas del material.

Fuente: TEXTILE COMPOSITES: MICROMECHANICS

El software FlowTex es una herramienta fácil de usar para calcular la permeabilidad de un medio poroso. El software es aplicable a todo tipo de medio poroso, pero está especialmente diseñado para su uso junto con el software WiseTex.

Los algoritmos de diferencia finita de Boltzmann y finitos (resolver (Navier-) Stokes y las ecuaciones de Brinkmann) se utilizan para modelar el flujo de un fluido no comprimible (resina) a través de un refuerzo textil. La geometría del refuerzo se crea con un modelo de geometría interna de tejidos, implementado en el paquete de software WiseTex. El enfoque de modelado y el software se han validado ampliamente, tanto en estructuras artificiales como en textiles reales. El resultado del modelado de flujo se procesa para calcular la permeabilidad del refuerzo, que se utilizará en las simulaciones de llenado de moldes (Lomov, SV, et al., 2014).

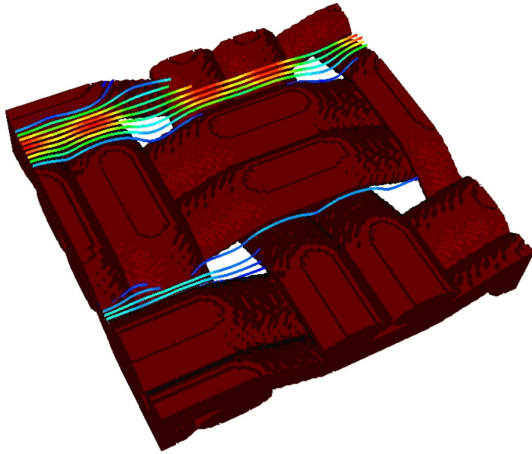


FIGURA 19. Resultado de modelado para calcular la permeabilidad de un medio poroso.  
Fuente: TEXTILE COMPOSITES: MICROMECHANICS

La gran variedad de posibles preformas textiles presenta un desafío para la ciencia de los materiales compuestos. Existe la necesidad de un software orientado al diseño, que relacione las propiedades del material compuesto con las propiedades finales de la pieza compuesta (bucle de diseño micro-macro), y que apoye la optimización del proceso de producción y de la selección del material. Las herramientas computacionales desarrolladas por el Grupo de Materiales Compuestos, Departamento MTM, KULeuven, para el modelado micromecánico de las propiedades de los materiales textiles se basan en el método aproximado (pero rápido) de inclusiones y en un análisis de FE más riguroso. Ambos están integrados con una descripción geométrica del compuesto textil, proporcionada por el software WiseTex. J.-F. Delerue, ET AL., 2003

El modelo basado en el método de inclusión se implementa en el software TexComp. La entrada es la descripción del refuerzo que se debe preparar con WiseTex y contiene, además de la geometría, información sobre las propiedades mecánicas de la fibra y la fracción de volumen de la fibra dentro del

refuerzo (que puede variar de un punto a otro). Estos datos, junto con las propiedades de la resina, se transforman en propiedades locales de hilos impregnados, utilizando el algoritmo de Mori-Tanaka. Luego los cálculos proceden con el método de inclusiones. El método de inclusiones también se puede aplicar a materiales compuestos reforzados con fibra aleatoria.

El método de inclusiones se basa en los conceptos de transformación de Eshelby y utiliza una analogía de fibra corta para describir el comportamiento mecánico de los segmentos de hilo curvo, combinado con un esquema Mori-Tanaka o auto consistente para tener en cuenta los efectos de interacción. La entrada geométrica de WiseTex consiste en las representaciones de la línea media del hilo y las dimensiones de la sección transversal. Los hilos se dividen en segmentos y se reemplazan por un equivalente de fibra corta utilizando la orientación del hilo y la curvatura local. La salida del modelo es la matriz de rigidez total de la celda unitaria homogeneizada (Lomov, SV, et al., 2014).

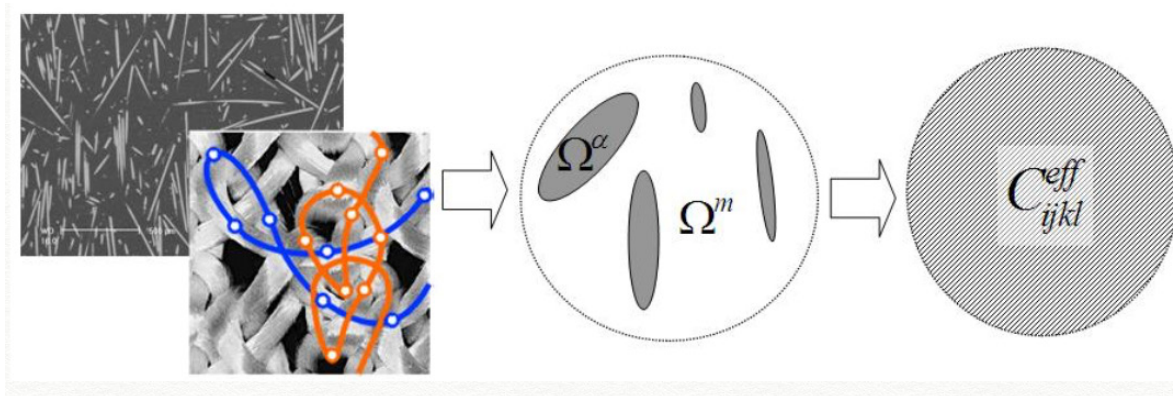


FIGURA 20. Propiedades locales de hilos impregnados.  
Fuente: TEXTILE COMPOSITES: MICROMECHANICS

La gran variedad de posibles preformas textiles presenta un desafío para la ciencia de los materiales compuestos. Existe la necesidad de un software orientado al diseño, que relacione las propiedades del material compuesto con las propiedades finales de la pieza compuesta (bucle de diseño micro-macro), y que apoye la optimización del proceso de producción y de la selección del material. Las herramientas computacionales desarrolladas por el Grupo de Materiales Compuestos, Departamento MTM, KULeuven, para el modelado micromecánico de las propiedades de los materiales textiles se basan en el método aproximado (pero rápido) de inclusiones y en un análisis de FE más riguroso. Ambos están integrados con una descripción geométrica del compuesto textil, proporcionada por el software WiseTex. J.-F. Delerue, ET AL., 2003

El modelo basado en el método de inclusión se implementa en el software TexComp. La entrada es la descripción del refuerzo que se debe preparar con WiseTex y contiene, además de la geometría, información sobre las propiedades mecánicas de la fibra y la fracción de volumen de la fibra dentro del refuerzo (que puede variar de un punto a otro). Estos datos, junto con las propiedades de la resina, se transforman en propiedades

locales de hilos impregnados, utilizando el algoritmo de Mori-Tanaka. Luego los cálculos proceden con el método de inclusiones.

El método de inclusiones también se puede aplicar a materiales compuestos reforzados con fibra aleatoria.

El método de inclusiones se basa en los conceptos de transformación de Eshelby y utiliza una analogía de fibra corta para describir el comportamiento mecánico de los segmentos de hilo curvo, combinado con un esquema Mori-Tanaka o auto consistente para tener en cuenta los efectos de interacción. La entrada geométrica de WiseTex consiste en las representaciones de la línea media del hilo y las dimensiones de la sección transversal. Los hilos se dividen en segmentos y se reemplazan por un equivalente de fibra corta utilizando la orientación del hilo y la curvatura local. La salida del modelo es la matriz de rigidez total de la celda unitaria homogeneizada (Lomov, SV, et al., 2014).

# 10.Marco Metodológico

En este capítulo se relatan, cronológicamente, los procesos a seguir para el desarrollo de creación e incorporación de nanopartículas de cobre en fibra de poliéster, en esta primera parte del proyecto la metodología se desarrolla en fases, la primera de ellas es la recopilación de información, a través de herramientas digitales y físicas como artículos y libros con el fin de indagar acerca de fibras textiles, abarcando las fibras existentes, su composición, propiedades y estructura, la recopilación abarca no solo fibras textiles sino también las manufacturadas, esto con el fin de obtener un conocimiento claro sobre la base en que se desarrolla el proyecto. Este proyecto propone modificar la estructura de la fibra de poliéster para que sea 100% hidrófoba, incluso al momento de construir un textil. Para ello, se utilizarán procedimientos nano, esto conlleva a la fase dos, la cual consiste en el desarrollo teórico de las nanopartículas de cobre, para comprender claramente y a fondo los términos y procedimientos a realizar se hace una descripción desde la nanotecnología para el área textil, permitiendo dar una mirada y direccionamiento del proyecto. De igual forma se propone el uso de nanopartículas metálicas, para ello se realiza una breve introducción dentro del marco teórico, pues bien, poseen excelentes propiedades ópticas, mecánicas, eléctricas, magnéticas, y químicas importantes de reconocer. Para que la fibra pueda ser hidrófoba, deberá pasar por un proceso de impermeabilización, se hace una recopilación de dichos procesos haciendo un enfoque en los repelentes al agua. Ahora bien, en la fase tres, se abarca el

planteamiento teórico de la incorporación de nanopartículas sobre sustratos de poliéster, en la cual se desarrolla el proceso de síntesis para la obtención de las nanopartículas y posteriormente el acoplamiento de ellas a las fibras de poliéster. En este capítulo también se propone un diseño experimental que permitirá medir variables de mojabilidad en el material textil. Finalmente, esta la fase cuatro, en la que se plantea no solamente los resultados y conclusiones, si no también la posibilidad de modelación y simulación computarizada, dando cuenta del material textil conformado por fibras poliméricas impermeables al agua en condiciones ambientales reales.



## **Recopilación de información.**

(Herramientas digitales y físicas como artículos y libros.)

Indagar acerca de fibras textiles, y manufacturadas, desde su composición, propiedades y estructura, esto con el fin de obtener un conocimiento claro sobre la base en que se desarrolla el proyecto.

## **Desarrollo teórico de las nanopartículas de cobre.**

Para comprender claramente y a fondo los términos y procedimientos a realizar se hace una descripción desde la nanotecnología para el área textil. Se propone el uso de nanopartículas metálicas, pues bien, poseen excelentes propiedades ópticas, mecánicas, eléctricas, magnéticas, y químicas importantes de reconocer. Comprender sus características, permiten la selección como el material apto para el proyecto.

## **Planteamiento teórico de la incorporación de nanopartículas sobre sustratos de poliéster.**

se desarrolla el proceso de síntesis para la obtención de las nanopartículas y posteriormente el acoplamiento de ellas a las fibras de poliéster. En este capítulo también se propone un diseño experimental que permitirá medir variables de mojabilidad en el material texti

## **Posibilidad de modelación y simulación computarizada.**

Permitirá dar cuenta del material textil conformado por dichas fibras poliméricas impermeables al agua en condiciones ambientales reales, el resultado del modelado, será el flujo que se procesa para calcular la permeabilidad del agua.



# 11. Resultados y Conclusiones

En este capítulo podremos observar los resultados de acuerdo a cada una de las fases descritas en el marco metodológico, empezando por la recopilación de la información, hasta llegar a la validación de acuerdo a la posibilidad de modelación y simulación.

## 11.1. Fase 1 y 2

Dentro de la revisión bibliográfica, se encontró cerca de 40 libros sobre fibras textiles con el fin de extraer información para tener bases sólidas acerca de su composición, características, geometría entre otras propiedades físicas y químicas, se consultaron alrededor de 25 proyectos y 10 tesis de grado sobre nanotecnología y sus aplicaciones más recientes, esto para entender la ciencia en la que se desarrollaría el proyecto, sus términos y alcances desde tan nueva área. De la misma forma se trajo a colación la búsqueda de como generar nanopartículas de cobre, cerca de 9 Artículos científicos y 4 libros generaron el conocimiento teórico del proceso y la síntesis apta para la aplicación sobre fibras de poliéster, que es lo que da como resultado y origen a la fase número tres.



Las nanopartículas seleccionadas, de acuerdo a la revisión bibliográfica para el procedimiento de hidrofobicidad, inicialmente son las de plata, puesto que tienen características antibacterianas muy altas y son incoloras. Lo que quiere decir que es posible pigmentar del color deseado al momento de realizar el proceso de incorporación a la fibra para generar la hidrofobicidad, sin embargo, su geometría tiende a ser triangular para un mejor efecto antimicrobiano, lo que no permite una excelente impermeabilidad. Por otro lado, se propone las nanopartículas de cobre, las cuales tienen como única desventaja en el área textil, su color, siendo rojizo tiende a pigmentar cualquier superficie en que se aplique, sin embargo, cumple con las características adecuadas; es antimicrobiana y su estructura a escala nano, es esférica permitiendo así una repelencia al agua mayor, es por ello que se decide trabajar con ella para el desarrollo del proyecto. A partir de la recopilación de la información y del desarrollo teórico de las nanopartículas de cobre, se propone el planteamiento teórico de la incorporación de nanopartículas sobre sustratos de poliéster como resultado de la investigación.

## 11.2. Fase 3

La fase tres nos da como resultado el desarrollo teórico de nanopartículas de cobre, para la obtención de nanopartículas se debe hacer el proceso de síntesis, el cual se hace por la reacción de reducción química. Este proceso consiste en la mezcla de la hidracina con el acetato de cobre. La hidracina funciona como la sustancia que dona los electrones que separan el cobre del acetato, formando así las partículas de cobre, las cuales son adheridas en la superficie de la fibra de poliéster durante su formación.

Se opta por este proceso puesto que da la posibilidad de incorporar las nanopartículas in-situ, eliminando el uso de agentes compatibilizantes, y permite controlar el porcentaje de las tazas (contaminación en la muestra).

Herramienta para el desarrollo y superposición de nanopartículas de cobre, aplicada como recubrimiento sobre fibra de poliéster.

Para el desarrollo de la herramienta inicialmente se necesitan los siguientes materiales

**Acetato de cobre (Cu)**  
**Hidracina hidratada al 80%**  
**Agua destilada**  
**Fibras de poliéster**  
**Ácido acético**

Para el desarrollo de esta herramienta se extrapolo el procedimiento realizado por (Z. Li et al), con el fin de obtener un proceso para incorporar nanopartículas de cobre en fibras de poliéster. El proceso se entiende como:

### Reducción química

En un beaker agregar 2 mmol de acetato de cobre para disolver en 40 ml de agua destilada en condiciones de agitación magnética y temperatura controlada a 110°C con condensador y sin el a 90°C, posteriormente adicionar 1.6 ml de hidracina hidratada en la solución anterior. Se sumerge las fibras de poliéster durante 12h. pasadas las 12h se retiran y se deberán lavar infinitas veces con agua ionizada y secadas a 60°C.

## Caracterización

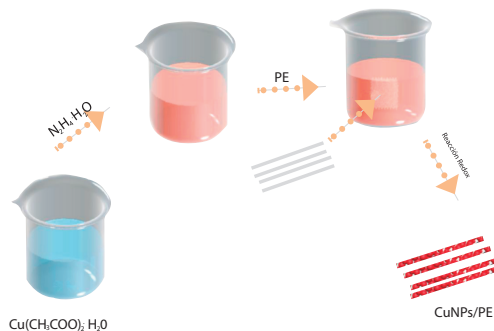


Figura 21. Ilustración esquemática del proceso de fabricación de Cu-Np / PE, recubrimiento hidrófobo dinámico.

La caracterización se realizará por equipo Microscopio Electrónico de Barrido (por sus siglas en inglés Scanning Electron Microscopy SEM) con acoplamiento de Dispersión por Rayos-X (por sus siglas en inglés Energy Dispersive X-ray spectroscopy EDX), con el fin de estudiar la morfología y composición química del material nano estructurado. Además, se realizará estudios de ángulo de contacto sobre el textil fabricado a partir de las fibras de poliéster con recubrimiento de nanopartículas de cobre obtenidas para analizar la mojabilidad del agua sobre la superficie del textil.

Para la prueba de permeabilidad se propone un diseño de experimentos factorial que permitirá medir diferentes variables dependientes del tiempo, como lo es el flujo de agua a través del textil.

Se realiza el planteamiento del diseño de experimentos DoE factorial 12 (un factor con 2 niveles) a partir de la prueba estándar Valoración de la Resistencia al Mojado; ensayo Spray-Test UNE 40-393-84, la cual se trata de un ensayo para determinar la repelencia o resistencia al mojado externo de los tejidos (Carrera-Gallissà, E., 2015).

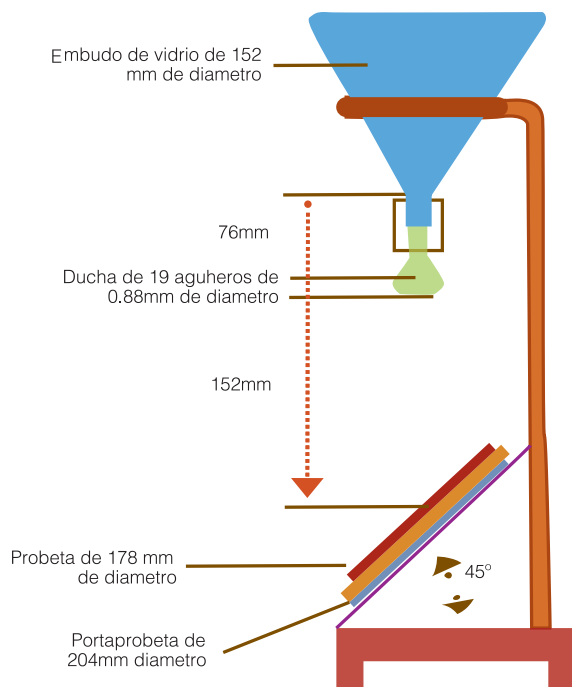
El ensayo consiste en verter 250 cm<sup>3</sup> de agua en forma de lluvia sobre un disco de tejido de 178mm de diámetro colocado con una inclinación de 45° (Fig. 22) durante 25 a 30 segundos. Al finalizar el ensayo, la superficie mojada se compara con una serie de patrones fotográficos normalizados con distintos grados de mojado.

Como se mencionó anteriormente, se tendrá un DoE factorial 12, donde el factor variable será el tiempo con 2 niveles de intervalos de tiempo, 25 segundos y 30 segundos. Además, se realizarán 3 repeticiones con cada nivel, obteniendo 6 probetas como resultados del ensayo para realizar el análisis estadístico de varianza (ANOVA), para analizar resistencia al mojado del textil fabricado a partir de fibras de poliéster modificadas con recubrimiento de nanopartículas de cobre (Carrera-Gallissà, E. 2015)

## Caracterización

### 11.3 Fase 4

La posibilidad de modelación y simulación computarizada de acuerdo a lo obtenido teóricamente en las fases anteriores, y mediante el software flowtex permitirá dar cuenta del material textil conformado por dichas fibras poliméricas impermeables al agua en condiciones ambientales reales, el resultado del modelado, será el flujo que se procesa para calcular la permeabilidad del agua.



**Figura 22. Diagrama del montaje para la prueba UNE 40-393-84**

# Referencias

Almendáres A. y González J. (2011). Nanomateriales: su crecimiento, caracterización estructural y tendencias. Ideas CONCYTEG, 6 (72), pp 772-787

Carrera-Gallissà, E. (2015). Caracterización de tejidos: Principales ensayos físicos para evaluar la calidad de los tejidos textiles. Universitat Politècnica de Catalunya. 1ª edición. 238 pp

Cornejo, I. (2015). Clasificación de los materiales nano. Recuperado de <http://nuevatecnologiasmateriales.com/clasificacion-de-los-nano-materiales/>

Deopura, B. L., & Padaki, N. V. (2015). SYNTHETIC TEXTILE FIBRES. Textiles and Fashion. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00005-2>

Deopura, B. L., & Textile Institute (Manchester, E. (2008). Polyesters and polyamides. Woodhead Pub. in association with the Textile Institute.

European Commission. (2013). Nanotechnologies: principles, applications, implications and hands-on activities. Luxemburgo: Publications Office of the European Union

E. Shim. 2013. smart textiles for protection: smart surface treatments for textiles for protection.

Fibras Manufacturadas Continúan su Crecimiento | Textiles Panamericanos. (n.d.). Retrieved September 18, 2018, from <http://textilespanamericanos.com/textiles-panamericanos/articulos/2015/02/fibras-manufacturadas-continuan-su-crecimiento/>

González, Jaime. (2017). Aditivación de micropartículas de cobre y plata en fibras termoplásticas para la funcionalización de productos textiles. Trabajo de maestría.

Gulrajani, M. L. (2013). 12 - The use of nanotechnology in the finishing of technical textiles. In M. L. Gulrajani (Ed.), Advances in the Dyeing and Finishing of Technical Textiles (pp. 280-308): Woodhead Publishing.

Hegemann, D., Fischer, A. (2004). Plasma functionalization of textiles and fibers. Vak. Forsch. Prax. 16, 240-244.

History of Technology. (2016). Recuperado de <http://analogicdigitaltechn.blogspot.com.es/2016/01/what-is-nanotechnology.html>

Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2015). Textile Fibers. In Fundamentals of Forensic Science (pp. 381-404). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800037-3.00015-7>



Höcker Hartwig. (2002). Plasma treatment of textile fibers. *Pure and Applied Chemistry*, 74, 423–427.

Ibarra, Jaime. (2014). Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por el método de reducción química: optimización del método. Trabajo de maestría. <https://docplayer.es/84044984-Sintesis-y-caracterizacion-de-nanoparticulas-de-plata-por-el-metodo-de-reduccion-quimica-optimizacion-del-metodo.html>

Ivester, A. L., & Neefus, J. D. (n.d.). *INDUSTRIA DE PRODUCTOS TEXTILES*.

Li, S., Huang, J., Chen, Z., Chen, G., Lai, Y. (2017). Review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications. *J. Mater. Chem. A* 5, 31–55.

Mahltig, B. (2015). Hydrophobic and oleophobic finishes for textiles. In: Paul, R. (Ed.), *Functional Finishes for Textiles: Improving Comfort, Performance and Protection*. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.

M. Manshahia, A. Das, R. A. (2015). Introduction to active coatings for smart textiles. *Active Coatings for Smart Textiles*.

Morones J., Elchiguerra J., Camacho A., Holt K., Kori J., Ramirez J. y Yacaman M. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. Vol. 16: 2346-2353

Palermo. (2009). Clasificación De Las Fibras Textiles. Retrieved from [http://fido.palermo.edu/servicios\\_dyc/blog/images/trabajos/1581\\_5378.pdf](http://fido.palermo.edu/servicios_dyc/blog/images/trabajos/1581_5378.pdf)

Pérez J, Gardey A. (2009). Definición de nanotecnología. Octubre 2018, de Definición.de Sitio web: <https://definicion.de/nanotecnologia/>

Seon Han Mi, Park Yaewon, Hee Park Chung. (2015). Development of Superhydrophobic Polyester Fabrics Using Alkaline Hydrolysis and Coating with Fluorinated Polymers. *Fibers and Polymers*, 17, 241-247.

Shim Eunkyong. (2013). Smart surface treatments for textiles for protection. En *Smart textiles for protection*(87-126). Cambridge: Woodhead Publishing.

Sinclair, R. (2014). Understanding Textile Fibres and Their Properties: What is a Textile Fibre? *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00001-5>

Díaz, C. (2011). Capítulo 4: Evaluación de propiedades fisicoquímicas de sustratos. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/4\\_-\\_Evaluaci%C3%B3n\\_de\\_propiedades\\_fisicoqu%C3%ADmicas\\_de\\_sustratos.pdf?sequence=9](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2685/4_-_Evaluaci%C3%B3n_de_propiedades_fisicoqu%C3%ADmicas_de_sustratos.pdf?sequence=9)

Vančo, M., Krmela, J., & Pešlová, F. (2016). The use of PVD coating on natural textile fibers. *Procedia Engineering*, 136, 341–345. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.220>

Villalba, I. E. S. (n.d.). *Fibras Textiles*. Retrieved from <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/03/fibras-textiles.pdf>

Villanueva, Maria. (2015). *Recubrimientos antimicrobianos via sol-gel: su aplicación en el control de formación de biofilms*. Tesis para optar por el título de Doctor.

SVLomov et al. Anidamiento en laminados textiles: modelado geométrico del laminado, *Compos. Carolina del Sur. y Tech*, 63 (7): 993-1007, 2003.

s.aragon. (2017). *TexGen: An open source software for realistic geometric representation of textiles*. The University of Edinburgh on behalf of the Software Sustainability Institute Sitio web: <https://www.software.ac.uk/blog/2017-04-14-texgen-open-source-software-realistic-geometric-representation-textiles>

Ivanov, DS, SG Ivanov, SV Lomov e I. Verpoest, modelado de celdas unitarias de laminados textiles con cambios arbitrarios de varias capas. *Composites Science and Technology*, 2011, 72 (1): 14-20

Lomov, SV, I. Verpoest, J. Cichosz, C. Hahn, DS Ivanov y B. Verleye. (2014). simulaciones de compuestos textiles de nivel meso: intercambio de datos abiertos y secuencias de comandos. *Diario de materiales compuestos*.

Lomov, SV, I. Verpoest, J. Cichosz, C. Hahn, DS Ivanov y B. Verleye. (2014). simulaciones de compuestos textiles de nivel meso: intercambio de datos abiertos y secuencias de comandos. *Journal of Composite Materials*, (DOI: 10.1177 / 0021998313476327)

Z. Li et al.,(2018). Facile one-step fabrication of highly hydrophobic, renewable and mechanically flexible sponge with dynamic coating for efficient oil/water separation, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*.