 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigésima Milésima	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
	Dependencia	Aprobado		Pág.
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>i(110)</b>	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>MARTIN FABIAN SARMIENTO GAVIRIA</b>
FACULTAD	<b>INGENIERÍAS</b>
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>
DIRECTOR	<b>EDWIN EDGARDO ESPINEL BLANCO</b>
TÍTULO DE LA TESIS	<b>SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNA CUBIERTA POLIMÉRICA PARA USO HOSPITALARIO.</b>

### RESUMEN

(70 palabras aproximadamente)

ESTE PROYECTO PLANTEA EL PROCEDIMIENTO PARA LA SÍNTESIS DE UNA CUBIERTA POLIMÉRICA UTILIZANDO EL EQUIPO DE ELECTROSPINNING, DONDE SE ESCOGIÓ EL NYLON-6 COMO EL MATERIAL POLIMÉRICO BASE PARA ELECTROHILAR EL NO TEJIDO Y LOS SOLVENTES USADOS FUERON ÁCIDO ACÉTICO Y ÁCIDO FÓRMICO. SE REALIZÓ CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y MORFOLÓGICA DE LA CUBIERTA POLIMÉRICA PARA SER USADO EN AMBIENTES HOSPITALARIOS.

### CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 99	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 30	CD-ROM: 1
-------------	-----------	-------------------	-----------



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552  
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104  
 info@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNA CUBIERTA POLIMÉRICA  
PARA USO HOSPITALARIO.**

**AUTOR:**

**Martin Fabián Sarmiento Gaviria**

**Trabajo De Grado Para Optar Por El Título De Ingeniero Mecánico**

**Director**

**EDWIN ESPINEL BLANCO**

**MsC. Ingeniería**

**Asesor**

**NELSON ESCOBAR MORA**

**MsC. Ingeniería**

**Asesor**

**LINA MARCELA HOYOS PALACIO**

**I.Q. PhD.**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE INGENIERIAS**

**PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECÁNICA**

**Ocaña, Colombia**

**Abril de 2018**

**DEDICATORIA**

*Primeramente agradecer a Dios, por darme la sabiduría e inteligencia por haber culminado este proyecto de grado.*

*A mis padres Martin Sarmiento y luz estela Gaviria, por estar en los momentos más importantes de mi vida, por los consejos, el amor y el apoyo que siempre me han brindado; ya que han sido de gran ayuda para mi crecimiento personal y profesional.*

*A mis hermanas Mariluz y Karina gracias por su amor y el apoyo que me han dado, porque siempre han estado pendientes de cada etapa de mi vida.*

*A mi abuela Auris gracias por sus consejos, el amor y el apoyo que me has brindado. Gracias por llevarme siempre en tus oraciones.*

*A mis amigos, compañeros de estudio y a todas las personas que han hecho parte de este proceso académico.*

*Martin Fabián Sarmiento Gaviria*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios porque su amor y bondad no tienen fin para con nosotros, porque me ha permitido terminar satisfactoriamente este proyecto.*

*A mi profesor Edwin Espinel Blanco, porque ha sido mi tutor del proyecto y amigo, colocando todo el empeño para que este proyecto fuera realizado de la mejor manera.*

*Al Magister Nelson Escobar Mora, por su apoyo e interés mostrado en guiarme de la mejor manera, por estar siempre pendiente de mí cuando tuve dificultades en el proyecto, gracias porque se ha logrado culminar este proyecto.*

*A la Doctora Lina Marcela Hoyos, porque siempre estuvo pendiente de mí, en cada fase del proyecto, por sus asesorías y porque a pesar de estar en otra ciudad, ella con su cariño y su entrega, me han hecho sentir como en casa.*

*A la Ingeniera María Isabel, porque fue una amiga en mi estadía en Medellín, además por sus consejos y siempre tratando de que el proyecto saliera de la mejor manera.*

*A la Ingeniera Mónica Mejía, gracias por sus recomendaciones y asesorías que necesitaba del proyecto, y porque siempre estuvo pendiente de cada etapa de proyecto.*

*A todas las personas que de una u otra manera estuvieron involucrados en el proyecto, en la ciudad de Medellín, gracias a Luis Rodríguez, Liliana Agudelo, Gabriel Colmenares, Tatiana Tamayo.*

*A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña porque fue mi segundo hogar en esta etapa de mi vida y todos los docentes que hicieron parte de mi formación profesional.*

*A la universidad Pontificia Bolivariana de Medellín por la oportunidad de vivir una nueva experiencia en el campo de la ciencia y nuevas tecnologías.*

## Tabla de Contenidos

1.	Capítulo 1 SINTESIS Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNA CUBIERTA POLIMÉRICA PARA USO HOSPITALRIO .....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Formulación del problema .....	2
1.3	Descripción del Problema .....	2
1.4	Objetivos .....	5
1.4.1	General .....	5
1.4.2	Específicos .....	5
1.5	Justificación .....	5
1.6	Alcances .....	6
1.7	Delimitaciones .....	7
1.7.1.	Geográficas. ....	7
1.7.2.	Conceptual. ....	7
1.7.3.	Operativa.....	7
1.7.4.	Temporal. ....	7
2.	Capítulo 2. Marco de referencia.....	8
2.1.	Marco histórico .....	8
2.2.	Marco Conceptual.....	16
2.3.	Marco legal. ....	41
3.	Capítulo 3. Diseño metodológico .....	44
3.1.	Tipo de investigación .....	44
3.2.	Población.....	44
3.3.	Muestra. ....	44
3.4.	Técnicas de recolección de información.....	46
3.5.	Instrumentos de recolección de información: .....	47
3.6	Fases del Proyecto.....	47
4.	Capítulo 4. Desarrollo del proyecto por medio de las actividades propuestas .....	49
4.1.	Fase I. Estado del arte y Recolección de Información.....	49
4.1.1	Revisión en artículos científicos relacionados con Nylon 6, ácido fórmico, ácido acético. ....	49
4.1.2	Planteamiento de variables, para realizar la síntesis de la cubierta polimérica. ....	51
4.2.	Fase II. Elaboración y pruebas del material.....	51
4.2.1	Síntesis de la cubierta polimérica mediante ensayos en el electrospinning.....	51
4.2.2	Determinación de la Resistencia a la Tracción de una Cubierta Polimérica no tejida. ....	66
4.2.3	Determinación de la Medición del ángulo de contacto.....	74
4.3.	Análisis de los Resultados .....	77
4.3.1	Análisis de las estructuras obtenidas mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).....	77
4.3.2	Análisis de las pruebas mecánicas que se realizaron en la maquina universal de ensayos a las cubiertas poliméricas.....	78
4.3.3	Caracterización mediante ángulo de contacto de las cubiertas poliméricas estableciendo sus propiedades para uso hospitalario. ....	79

	vii
5. Conclusiones .....	80
6. Recomendaciones .....	81
7. Referencias.....	82
8. ANEXOS .....	90

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura 3D, Ácido Acético.....	27
Figura 2. Estructura 3D Acido fórmico. ....	30
Figura 3. Representación esquemática de una gota sésil de líquido (L) reposando en equilibrio sobre una superficie sólida horizontal (S) en una atmósfera de gas (G). Ángulo de contacto y tensiones en el punto triple. ....	37
Figura 4. Esquema representando los ángulos de contacto de una superficie hidrofóbica e hidrofílica y las distintas propiedades de los mismos.....	38
Figura 5. Esquema de SEM. ....	40
Figura 6. Imagen SEM de las nanofibras X1000.....	59
Figura 7 Imagen SEM de las nanofibras X2000.....	59
Figura 8 Imagen SEM de las nanofibras X5000.....	59
Figura 9 Imagen SEM de las nanofibras X1000.....	59
Figura 10 Imagen SEM de las nanofibras X2000.....	60
Figura 11 Imagen SEM de las nanofibras X34000.....	60
Figura 12 Imagen SEM de las nanofibras X1000.....	61
Figura 13 Imagen SEM de las nanofibras X2000.....	61
Figura 14 Imagen SEM de las nanofibras X2000.....	62
Figura 15 Imagen SEM de las nanofibras X2000.....	62
Figura 16 Imagen SEM de las nanofibras X30000.....	62
Figura 17 Imagen SEM de las nanofibras X5000.....	62
Figura 18 Probeta con líneas de centrado. ....	69
Figura 19 Probeta real de la muestra.....	69
Figura 20 Probeta colocada en la máquina. ....	70
Figura 21 Probeta durante el ensayo.....	70
Figura 22 Probeta durante el ensayo.....	70
Figura 23 Probeta una vez culminado el ensayo.....	70
Figura 24 Resultados de los ensayos de tracción en modo horizontal.....	72
Figura 25 Resultados de los ensayos de tracción en modo vertical.....	73
Figura 26 Equipo de ángulo de contacto de la UPB de Medellín.....	74
Figura 27 Probeta para realizar ángulo de contacto.....	75
Figura 28 Probeta durante el ensayo.....	75
Figura 29 Ángulo de contacto inmediatamente cae la gota de agua a la cubierta polimérica. ....	76
Figura 30 Ángulo de contacto 20 segundos después de caer la gota de agua a la cubierta polimérica. ....	76

## Lista de tablas

Tabla 1. Propiedades de tracción a partir de las diferentes soluciones de concentración.....	9
Tabla 2. Conductividad, viscosidad, diámetro de fibra y medición del ángulo de contacto de agua de diferentes sistemas .....	11
Tabla 3. Criterios simplificados para la vigilancia de las infecciones nosocomiales. ....	18
Tabla 4. Parámetros de electrohilatura (solución, procesamiento y ambiente) y sus efectos sobre la morfología de la fibra.....	25
Tabla 5. Indicadores Químicos .....	28
Tabla 6. Indicadores químicos. ....	31
Tabla 7 Relación ácido fórmico: ácido acético [4:1] .....	45
Tabla 8 Relación ácido fórmico: ácido acético [3:2] .....	45
Tabla 9 Relación ácido fórmico: ácido acético [2:3] .....	46
Tabla 10. Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$).....	96
Tabla 11. Descripción de los equipos que se planea adquirir (en miles de \$). ....	97
Tabla 12. Reactivos y Material de Laboratorio (en miles de \$).....	97
Tabla 13. Insumos (en miles de \$) .....	98
Tabla 14. Servicios Técnicos (en miles de \$) .....	98
Tabla 15. Documentación y Bibliografía (en miles de \$).....	99



### **Tablas de Anexos**

Anexo A Resultados de las Pruebas de Tracción- Nylon Horizontal .....	90
Anexo B Resultados de las Pruebas de Tracción- Nylon Vertical.....	91
Anexo C Resultados de los ángulos de contacto .....	92
Anexo D Propiedades Físicas del ácido acético. ....	93
Anexo E Propiedades Físicas del ácido fórmico: .....	94
Anexo F Presupuesto del costo de los Ensayos de tracción y ángulo de contacto. ....	95
Anexo G Tablas de presupuesto .....	96

# **1. Capítulo 1 SINTESIS Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE UNA CUBIERTA POLIMÉRICA PARA USO HOSPITALRIO**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS), se definen como “aquellas infecciones que el paciente adquiere mientras recibe tratamiento para alguna condición médica o quirúrgica y en quien la infección, no se había manifestado ni estaba en período de incubación en el momento del ingreso a la institución”. (“OMS | Carga mundial de infecciones asociadas a la atención sanitaria,” 2013).

Las IAAS representan un importante problema sanitario y financiero en el mundo debido a la frecuencia con que se producen; la morbilidad y mortalidad que provocan; y la carga económica que imponen a pacientes, personal sanitario y sistemas de salud, relacionados con períodos de estancia hospitalaria más extensos, así como con procedimientos de mayor complejidad, comprometiendo la salud del paciente.(Street & States, n.d.).

Su frecuencia es notoriamente mayor en países en vía de desarrollo donde cada 6 a 20 de 100 pacientes que consultan desarrollarán una IAAS .(“WHO | The burden of health care-associated infection worldwide,” 2013) (World Health Organization, 2011). En Estados Unidos y Europa se estima que ocasionan entre 99 y 110 mil muertes anuales y 16 millones de días de estancia extra en hospitales.(“WHO | The burden of health care-associated infection worldwide,” 2013) (Klevens et al., 2007). Según el Centro de Control de Enfermedades (CDC), los costos médicos anuales de infecciones en el ámbito hospitalario en Estados Unidos oscilaron entre \$ 28 y \$ 45 mil millones de dólares hacia el 2007. En América Latina, a pesar de que las IAAS son una causa importante de morbilidad y mortalidad, se desconoce la carga de enfermedad

producida por estas infecciones, aunque algunos países e instituciones se han aproximado a su cuantificación de manera independiente (Street & States, n.d.). A su vez, el problema de las IAAS se ha agravado por dos factores, la presencia de la resistencia antimicrobiana y la capacidad de algunos microorganismos de sobrevivir por periodos de tiempo prolongados en elementos inertes (Neely & Maley, 2000). Las IAAS causadas por gérmenes resistentes aumentan la gravedad de las patologías en los pacientes y el riesgo de infección en los trabajadores y los sobrecostos por parte de las instituciones de salud; por ello las estrategias de contención para las IAAS necesitan tener en cuenta la acción frente a microorganismos resistentes (Magiorakos et al., 2012).

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo estará sintetizada y cuáles serán las propiedades mecánicas de una cubierta polimérica que pueda ser usada para fabricar cortinas, cubiertas de equipos y sábanas de uso hospitalario?

## **1.3 Descripción del Problema**

La adquisición de las IAAS tiene en cuenta tres escenarios determinantes asociados con la susceptibilidad del paciente a la infección, la virulencia de los microorganismos y el tipo de exposición del paciente al agente infeccioso, relacionado con los mecanismos de transmisión que incluyen contacto directo con alimentos o implementos contaminados, la transferencia a través de las manos del personal de la salud, por inhalación de partículas infecciosas suspendidas en el aire, por vectores o superficies contaminadas.

La contaminación de las superficies del ambiente hospitalario por microorganismos varía de acuerdo con el número de personas y tipo de actividad laboral que se realiza, la humedad

ambiental, la frecuencia de recambio de filtros para la purificación del aire, y la orientación de la superficie. Otros factores que contribuyen son la contaminación y crecimiento microbiano en textiles como cortinas, cubiertas para equipos, material de uso en el cuidado del paciente y del personal de salud como mantas, toallas, batas que están en contacto con fluidos corporales o partículas del ambiente (United States of America. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) - Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, 2003) (Motacki, Kapoian, & O'Mara, 2011).

Los procesos actuales de lavandería y desinfección en autoclaves retiran la suciedad pero están lejos de ser 100% estériles a un nivel microscópico, por lo cual no son suficientes para interrumpir la transmisión de (IAAS) (Mejía et al., 2017). Por esta razón es fundamental generar nuevas soluciones a estas problemáticas, en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos científicos e industriales para desarrollar textiles antimicrobianos con nanopartículas metálicas antibacterianas (Cobre (Cu), Plata (Ag), Zinc (Zn)) y óxido metálicas (Óxido de magnesio (MgO), Óxido de Zinc (ZnO), Óxido de Cobre (CuO), y Dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>)), que tienen una alta área superficial y presentan excelentes propiedades antibacterianas y anti fúngicas, con el fin de suplir la creciente necesidad de disminuir la carga bacteriana en las cubiertas y el vestuario médico en los hospitales. Las nanopartículas antibacterianas deben ser lo suficientemente resistentes a varios ciclos de lavado y a temperaturas muy altas, para ser incorporadas con éxito en los textiles, con el fin de mantener niveles adecuados de higiene y reducir el número de microorganismos presentes e interferir con la desinfección (Perelshtein et al., 2013).

Las nanopartículas antibacteriales, pueden ser aplicadas sobre fibras textiles no tejidas en una solución polimérica mediante la técnica de electrospinning o electrohilado, una técnica

versátil y estable, la cual permite sintetizar nanofibras textiles no tejidas, mediante el control de parámetros del equipo, de la solución y del ambiente; ya que al sintetizar estas nanopartículas bactericidas y/o bacteriostáticos nos ayudaran a mantener la asepsia en los entornos hospitalarios (Perelshtein et al., 2015).

En el futuro la producción con nanotextiles que combinen nuevas funcionalidades, es decir, que los nanotextiles inteligentes multifuncionales puedan ser aplicados como una barrera de protección que impacte en la propagación de las IAAS (Som, Wick, Krug, & Nowack, 2011).

Por estas razones es importante desarrollar cubiertas poliméricas, nanoreforzadas con partículas cerámicas y/o metálicas que contienen propiedades bactericidas y bacteriostáticas para prevenir la propagación de las IAAS en los entes hospitalarios.

## **1.4 Objetivos**

**1.4.1 General.** Caracterizar morfológica y mecánicamente cubiertas poliméricas no tejidas desarrolladas mediante la técnica de electrospinning con el fin de establecer sus propiedades para uso hospitalario.

### **1.4.2 Específicos**

- Desarrollar cubiertas poliméricas no tejidas de Poliamida 6 por medio de la técnica de electro hilado con el fin de establecer un proceso de fabricación trazable y repetible.
- Caracterizar morfológicamente las estructuras obtenidas mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) con el fin de conocer su estructura interna, así como el tamaño y la distribución de las nanofibras.
- Definir las propiedades mecánicas del no tejido y su capacidad para ser usado como cubierta de uso hospitalario.

## **1.5 Justificación**

La prevención de IAAS está enfocada a las condiciones de la atención del paciente y del medio ambiente. Cuando una superficie está contaminada no significa que causará una infección en un paciente o en el personal de la salud. Para que una infección se considere transmitida por el ambiente se debe completar la cadena de transmisión, es decir, que exista un hospedero susceptible, una puerta de entrada adecuada y un inóculo de microorganismo suficientemente virulento (Álvarez-Moreno et al., 2016). Por esta razón es fundamental generar nuevas soluciones a estas problemáticas, en los últimos años se han realizado grandes esfuerzos científicos e industriales para desarrollar textiles antimicrobianos con nanopartículas metálicas antibacterianas. Los nanomateriales se han convertido en una herramienta que ha producido un

impacto en el ámbito médico, posicionándose como la tecnología del presente y futuro. Las nanopartículas (NP) poseen propiedades únicas basadas en características específicas (tamaño, distribución y morfología) que han permitido mejorar algunas características existentes en los textiles y han incorporado nuevas propiedades a los mismos como la auto-limpieza, repelencia al agua y la suciedad, propiedades antimicrobianas, conductividad y antiestáticos, resistencia a la abrasión y a la radiación UV y, disminución de permeabilidad a los gases e inflamabilidad (Pelgrift & Friedman, 2013). En el futuro la producción de nanotextiles que combinen nuevas funcionalidades, es decir, nanotextiles inteligentes multifuncionales podrían ser aplicados como una barrera de protección que impacte en la propagación de las IAAS (Som et al., 2011).

Con la presente propuesta se pretende desarrollar una cubierta polimérica mediante la técnica de electrospinning, nanoreforzada con partículas cerámicas y/ metálicas que contienen propiedades bactericidas y bacteriostáticas que han sido previamente estudiadas por el Grupo de Investigación de Bioingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, como parte del proyecto Cubierta polimérica nanoreforzada como barrera de protección ante infecciones asociadas a la atención en salud, que está inscrito en COLCIENCIAS – Proyectos de ciencia, tecnología e innovación en salud 2015, este proyecto es realizado dentro del marco del convenio de cooperación entre la UPB de Medellín y la UFPS Ocaña.

### **1.6 Alcances**

Se pretende desarrollar y caracterizar cubiertas poliméricas de poliamida N°6 no tejidas, desarrolladas mediante la técnica de electrospinning, para determinar su morfología y sus propiedades mecánicas con el fin de establecer sus características para uso hospitalario.

Se estudiarán las propiedades mecánicas de la cubierta polimérica con el objetivo de que en trabajos posteriores se pueda reforzar con nanopartículas bactericidas y/o bacteriostáticas que

eviten la contaminación de las superficies con los microorganismos del ambiente hospitalario nocivos para la salud.

Se caracterizará el compuesto a través de ensayos de microscopia electrónica de rastreo SEM-EDX, resistencia a tracción y ángulo de contacto.

## **1.7 Delimitaciones**

**1.7.1. Geográficas.** Este proyecto se realizará en la ciudad de Medellín en la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) con la colaboración y supervisión del Magister Nelson Escobar Mora, la Doctora Lina Marcela Hoyos Palacio bajo la vigilancia del director del proyecto Edwin Espinel Blanco y en la Ciudad de Ocaña en la universidad Francisco de Paula Santander de la facultad de ingeniería.

**1.7.2. Conceptual.** Los términos que se manejarán como referentes del proyecto son: IAAS, bactericidas, bacteriostáticos, Electrospinning, cubierta polimérica, No tejido, Nano-fibras textiles, ensayos mecánicos.

**1.7.3. Operativa.** Con este proyecto se espera sintetizar y caracterizar mecánicamente cubiertas poliméricas con propiedades bactericidas y/o bacteriostáticas.

**1.7.4. Temporal.** Este proyecto tendrá duración de 17 semanas iniciando desde el 14 de agosto de 2017, realizando hasta la semana 13 en el 2017, y las 4 semanas restantes en el año 2018.



## **2. Capítulo 2. Marco de referencia**

### **2.1.Marco histórico**

#### **Revisión del estado de arte.**

Existen muy pocos proyectos en los cuales se han realizado pruebas mecánicas a las cubiertas poliméricas con propiedades bactericidas y/o bacteriostáticas, con y sin nanorrefuerzos. A través de la investigación realizada para este proyecto, se logró observar que los trabajos que realizaron pruebas mecánicas fueron a nivel internacional.

#### **Antecedentes a nivel mundial.**

Hem Raj Panta apoyada por la Fundación de Investigación de subvención coreana financiado por el Gobierno de Corea (MOEHRD) (Centro para el Desarrollo de la tecnología Sanitaria, Universidad Nacional de Chonbuk, Jeonju 561-756, República de Corea), esta investigación tuvo como objetivo construir una base para estudiar las estructuras más complicadas en sub-nanoescala de polímeros biocompatibles con el fin de comprender mejor el efecto del proceso de electrospinning en la morfología de la fibra. Otros polímeros que son polielectrolítico en la naturaleza también pueden formar araña-red como estructura. Por otra parte, a excepción de que los polímeros utilizados en aplicaciones biomédicas de funcionalización por los átomos / grupo de átomos capaces de formar enlaces de hidrógeno, también puede ser capaz de dar araña-red como estructuras que pueden ser potenciales en el campo de la bioingeniería como como la entrega de medicamentos y genes.

En este trabajo, las nanofibras obtenidas de estera de nylon-6 como función de la tensión aplicada se han de encontrar más de superficie a volumen con mayor resistencia mecánica. Es

debido a la formación de estructuras como-red de la araña por medio de enlaces de hidrógeno fuertes. El uso de electrospinning sucesivas para conseguir adicional nanofibras finas puede proporcionar una nueva dimensión en el campo de electrospinning. Además, la estructura de red de la araña-presente en la estera electrospun puede ser potencialmente aplicables en una amplia variedad de aplicaciones de filtración que van desde los medios de purificación de agua a los medios de filtro de aire. (Raj et al., 2010) .

Yan Li en el 2006 junto con la Fundación Especial Nano Shanghai afirmaron en su proyecto que las nanofibras nylon-6, 66,1010 se prepararon con éxito por electrospinning. La concentración de la solución hilable nylon 6/66/1010 está en el intervalo de 6-14% en peso. La concentración de la solución más alta favorece la formación de fibras ultrafinas uniformes sin gotas. El diámetro de las fibras electrohiladas aumenta con el aumento de la concentración de la solución y disminuye ligeramente con el aumento de la tensión y de la distancia de punta a colector aguja. Los electrospun nylon-6,66 membranas tienen cristalinidad inferior a la de las películas de fundición correspondientes.

**Tabla 1.**

***Propiedades de tracción a partir de las diferentes soluciones de concentración.***

	8 wt %	11 wt %	14 wt %
Espesor de la muestra ( $\mu\text{m}$ )	37	42	39
Fuerza máxima (MPa)	4,6	8,0	40,1
Elongación en ruptura (%)	16,7	33,3	42,6

**Fuente:** (Li, 2006).

La membrana de nylon-6, 66,1010 con fibras uniformes y sin gotas electrospun de la solución al 14% en peso exhibe la mejor resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura.(Li, 2006).

L. Francis en la Universidad de Génova, Departamento de Química y Química Industrial, Genova, Italia; con ayuda del Laboratorio SIMAP - GPM2, en Saint Martin de Hères cedex, Francia. Presentaron un estudio de la muestra con una exitosa síntesis de nanofibras compuestas de nylon / Ag por electrospinning. Se demostró que la concentración y la HR son dos parámetros ambientales que afectan fuertemente el tamaño y la morfología durante el electrospinning. El aumento de la HR tuvo un efecto opuesto sobre el diámetro de las nanofibras, mientras que el aumento en la concentración de la solución aumentó el diámetro de la fibra. Estos efectos de la humedad y la concentración en el diámetro de la fibra se atribuyeron a la velocidad de evaporación del disolvente durante el electrospinning. También se observó que los compuestos de fibra de nailon exhibían una alta resistencia mecánica que era ~ 2-3 veces más fuerte que sus equivalentes puros. (Francis, Giunco, Balakrishnan, & Marsano, 2010).

Hem Raj Panta del Departamento de Ingeniería de Bionanosistemas, de la Universidad Nacional de Chonbuk, Jeonju 561-756, República de Corea y el Departamento de Ciencias de la Ingeniería y Humanidades, Instituto de Ingeniería, Campus Pulchowk, Universidad Tribhuvan, Katmandú, Nepal; Preparó esteras de nanofibras compuestas de Nylon-6 / TiO<sub>2</sub> mediante electrospinning mezclando diferentes cantidades de NPs de TiO<sub>2</sub> con solución de nylon-6. La adición de una pequeña cantidad de NPs de TiO<sub>2</sub> mejora la hidrofiliidad y la resistencia mecánica de las esteras de nanofibras de nylon-6, y fue capaz de formar una nanoestructura de red tipo araña de alta relación de aspecto. La hidrofiliidad mejorada de las esteras tipo red de araña puede disminuir el efecto anti incrustante para hacer que la estera sea un candidato

potencial para la filtración de agua. La estera de nylon-6 atrapada en TiO<sub>2</sub> mostró una mejor capacidad bactericida y bloqueadora de UV en comparación con la estera nilón-6 pura bajo luz UV.

**Tabla 2.**

**Conductividad, viscosidad, diámetro de fibra y medición del ángulo de contacto de agua de diferentes sistemas**

Sistema	Conductividad (mS/m)	Viscosidad (cP)	Diámetro promedio de fibra (nm)	Ángulo de contacto (Grado)		
				1s	2s	3s
Solvente puro	7,1	6	-	-	-	-
Nylon 6 Solución/fibra	221,2	1218	110	130,5	122	113
1% TiO <sub>2</sub> en nylon 6 Solución/fibra	267,0	1124	130	87	63	43
5 % TiO <sub>2</sub> en nylon 6 Solución/fibra	210,7	1522	155	111	65	50
10% TiO <sub>2</sub> en nylon 6 Solución/fibra	208,4	1648	172	102	72	54

**Fuente:** (Prasad, Taek, Seo, Raj, & Yong, 2011).

Esta estera de nanofibras de alta relación de aspecto (debido a la estructura tipo red de araña) puede ser potencialmente aplicable en una amplia variedad de aplicaciones de filtro que

van desde medios de purificación de aire hasta medios filtrantes de agua, así como diferentes tipos de prendas de protección.(Prasad, Taek, Seo, Raj, & Yong, 2011).

Meredith N. Silberstein en el Departamento de Ingeniería Mecánica, Instituto de Tecnología de Massachusetts, Cambridge en EE. UU; definió que las esteras electrohiladas no tejidas orientadas aleatoriamente se han caracterizado experimentalmente bajo diferentes condiciones de carga de tracción. La caracterización mecánica experimental de fibras electrospun de poliamida amorfa reveló que el comportamiento de tensión-deformación de la fibra individual es elástico-plástico. La caracterización mecánica experimental de esteras electrospun aleatorias a partir de la misma solución de polímero reveló que estas esteras exhiben un comportamiento tensión-deformación elástico-plástico con un importante endurecimiento posterior al rendimiento. En cepas pequeñas, la relación inicial de Poisson es cercana a cero, lo que implica una rigidez estructural inicial que se opone a la alineación de la fibra. Esta resistencia luego se supera y hay una contracción transversal significativa con el esfuerzo axial, con una relación de deformación transversal a axial cerca de -1. Bajo carga cíclica, se observa que las esteras se descargan y vuelven a cargar de forma casi lineal y muestran un módulo elástico que aumenta significativamente con la tensión. El endurecimiento posterior al rendimiento y el aparente aumento en el módulo elástico con deformación surgen de la consolidación y la alineación de las fibras. La consolidación y la alineación también subyacen al comportamiento de deformación transversal observado. Las pruebas de tracción SEM in situ revelan la flexión de las fibras transversales, el doblado transversal de las fibras permite la consolidación y el alineamiento de las fibras hacia la dirección de carga, como también se observa en el SEM. El papel significativo de la contracción transversal en el comportamiento general de tensión-deformación se revela adicionalmente en pruebas de tracción en especímenes con diferentes relaciones de longitud:

anchura ( $L: W$ ). se encontró que  $L: W = 3$  proporcionaba un comportamiento de tracción casi uniaxial y una relación de contracción posterior al rendimiento que era cuatro veces mayor que  $L: W = 1$ . A su vez, el diferente comportamiento de contracción conduce a diferencias significativas en el endurecimiento por deformación posterior al rendimiento; una mayor contracción permite una mayor alineación y consolidación de la fibra, lo que proporciona un mayor endurecimiento por deformación.

Se construye un modelo constitutivo de base micromecánica para el comportamiento elástico-plástico de las esteras no tejidas. La estructura de la estera se idealiza como una red triangulada de fibras elásticas y plásticas. La red estratificada es capturada por un elemento de volumen representativo que consiste en múltiples capas de redes trianguladas; se encontró que una estructura de doble capa con las capas desplazadas por  $30^\circ$  era suficiente para capturar el comportamiento. Las capas imponen restricciones cinemáticas mutuas que emulan la estructura en capas de las esteras reales, proporcionando una mayor isotropía al rendimiento y el comportamiento posterior al rendimiento. Se consideró que el comportamiento de las fibras constituyentes era plástico elástico, lo que representa el estiramiento y la flexión de las fibras cuando se someten a cargas de tracción y compresión extremas. El doblado de las fibras cuando una fibra se comprime localmente es el mecanismo clave que permite que la estera se consolide durante la carga de tracción, dando el comportamiento de deformación transversal observada así como el endurecimiento por deformación post-rendimiento observado que se captura de forma natural desde la alineación de la fibra. Se encontró que una red de fibras trianguladas de doble capa que muestra estiramiento y flexión elástico-plástico captura todas las características del comportamiento uniaxial de las esteras, incluyendo:

- Comportamiento de tensión-deformación axial elástico-plástico que incluye rigidez elástica, rendimiento y endurecimiento posterior al rendimiento,
- tensión transversal,
- comportamiento cíclico carga-descarga-recarga,
- evolución en rigidez elástica con deformación plástica.

El modelo se valida aún más mediante la comparación con experimentos de carga axial sujetos a diferentes restricciones axiales, desde una deformación casi uniaxial hasta casi plana. Se encuentra que el modelo coincide con la forma deformada del espécimen, la tensión-deformación y las respuestas de deformación transversal para este rango de restricción inducida por el agarre. Dado que la física en este modelo no es específica de la poliamida más allá de la elección de las propiedades constitutivas de la fibra, se espera que este modelo sea transferible a otros materiales electrospun y a otras redes aleatorias estratificadas en general. (Silberstein, Pai, Rutledge, & Boyce, 2012).

### **Antecedentes a nivel nacional.**

En julio de 2017 Mónica Mejía y Jennifer Zapata del grupo de Bioingeniería, de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. Esta investigación tuvo como objetivo construir una vigilancia tecnológica como base para estudiar los textiles no tejidos con nanopartículas antibacterianas inmersas en sus fibras, con el fin de comprender mejor las propiedades que mejoran en estos para ser reforzados, diferentes autores han abordado el tema de la no –Tejidos para diversas aplicaciones, incluidas membranas de regeneración de tejidos, filtros de agua y prendas de protección.

Entre 2007 y 2017, el número de publicaciones en este campo aumentó significativamente, especialmente en revistas especializadas con materiales, química y ciencias biomédicas. Los países con el mayor número de documentos entre estos años son China con 28 documentos y Corea del Sur con 24 documentos, pero en Scopus aún no hay informes de Colombia, lo que hace necesario aumentar los procesos de R & D en nuestro país para proporcionar mejoras saludables en entornos hospitalarios. En la actualidad, solo seis artículos producidos en Colombia se informan en Scopus en relación con el tema de no tejidos principalmente en aplicaciones de filtros de agua en aplicaciones de ingeniería, recubrimientos para Stents en aplicaciones de salud y Geotextiles en aplicaciones de ciencias de la tierra. Por lo tanto, es necesario explorar en mayor profundidad las propiedades de los no tejidos para utilizar otras aplicaciones múltiples entre ellos en un entorno hospitalario.

Las propiedades analizadas por los diferentes autores para textiles no tejidos están asociadas con la norma NTC 5366 "Textiles para uso hospitalario e institucional", que describe los requisitos mínimos que debe cumplir un textil para uso hospitalario. Al asociar propiedades con estándares internacionales, se puede proporcionar una mayor calidad a los textiles no tejidos a través de pruebas de caracterización.

Se han utilizado diversos tipos de polímeros naturales y sintéticos para desarrollar textiles no tejidos, de acuerdo con sus propiedades, presentan una variedad de aplicaciones en el campo biomédico. Los estándares internacionales para telas no tejidas especifican los tamaños de muestra y el equipo apropiados para los protocolos de caracterización. En futuros estudios, podría considerarse la durabilidad de la tela no tejida y el tiempo de efecto de las nanopartículas antibacterianas, a fin de proporcionar más información sobre la vida útil de este tipo de refuerzo.(Mejía et al., 2017).



### **Antecedentes a nivel regional.**

No se reportan estudios o investigaciones realizadas en el electrospinning para producir nanofibras reforzadas con propiedades bactericidas y/o bacteriostáticas

### **2.2.Marco Conceptual.**

**Nanotecnología:** Es la fabricación de materiales, estructuras, dispositivos y sistemas funcionales a través del control y ensamblado de la materia a la escala del nanómetro (de 0.1 a 100 nanómetros, del átomo hasta por debajo de la célula), así como la aplicación de nuevos conceptos y propiedades (físicas, químicas, biológicas, mecánicas, eléctricas...) que surgen como consecuencia de esa escala tan reducida. (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, 2009).

Nanociencia es el estudio de los fenómenos y la manipulación de materiales a escala nanométrica. Nanotecnología es el diseño, caracterización y aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica. Puesto que el término “nanotecnología” abarca un amplio rango de herramientas, técnicas y potenciales aplicaciones, algunos científicos encuentran más apropiado llamarlas nanotecnologías, y entre las disciplinas que convergen en ellas se encuentran la química, la física, la biología, la medicina y la ingeniería, entre otras.(Uribe & López, 2007).

**IAAS, también denominadas infecciones Nosocomiales:** Las infecciones nosocomiales son infecciones contraídas durante una estadía en el hospital que no se habían manifestado ni estaban en período de incubación en el momento del internado del paciente. Las infecciones que ocurren más de 48 horas después del internado suelen considerarse nosocomiales. Las

infecciones nosocomiales también pueden considerarse endémicas o epidémicas. Las infecciones endémicas son las más comunes. Las infecciones epidémicas ocurren durante brotes, definidos como un aumento excepcional superior a la tasa básica de incidencia de una infección o un microorganismo infeccioso específico.

Los cambios en la prestación de servicios de salud han redundado en menores períodos de hospitalización y ampliado la atención ambulatoria. Se ha señalado que los términos infecciones nosocomiales deben comprender infecciones que ocurren en pacientes tratados en cualquier establecimiento de atención de salud. Las infecciones contraídas por el personal o por visitantes al hospital o a otro establecimiento de esa índole también pueden considerarse infecciones nosocomiales.

Las definiciones simplificadas pueden ser útiles para algunos establecimientos sin acceso a técnicas de diagnóstico completas. El cuadro siguiente (cuadro 1) ofrece definiciones de infecciones comunes que podrían emplearse para encuestas en instituciones con acceso limitado a técnicas complejas de diagnóstico. (Organización Mundial de la Salud, 2002).

**Tabla 3.*****Criterios simplificados para la vigilancia de las infecciones nosocomiales.***

Tipo de infección nosocomial	Criterios simplificados
Infección del sitio de una intervención quirúrgica	Cualquier secreción purulenta, absceso o celulitis difusa en el sitio de la intervención quirúrgica en el mes siguiente a la operación.
Infección urinaria	Cultivo de orina con resultados positivos (1 ó 2 especies) al menos con $10^5$ bacterias/ml con síntomas clínicos o sin ellos.
Infección respiratoria	Síntomas respiratorios con manifestación de por lo menos dos de los siguientes signos durante la hospitalización: — tos, — esputo purulento, — nuevo infiltrado en la radiografía del tórax, compatible con infección.
Infección del sitio de inserción de un catéter vascular Septicemia	Inflamación, linfangitis o secreción purulenta en el sitio de inserción del catéter. Fiebre o escalofrío y por lo menos un cultivo de sangre con resultados positivos.

**Fuente:** (Organización Mundial de la Salud, 2002).

**Factores influyentes en la manifestación de las infecciones nosocomiales:**

**El agente microbiano:** El paciente está expuesto a una gran variedad de microorganismos durante la hospitalización. El contacto entre el paciente y un microorganismo, en sí, no produce necesariamente una enfermedad clínica, puesto que hay otros factores que influyen en la naturaleza y frecuencia de las infecciones nosocomiales. La posibilidad de exposición conducente a infección depende, en parte, de las características de los microorganismos, incluso la resistencia a los antimicrobianos, la virulencia intrínseca y la cantidad de material infeccioso (inóculo). Una gran cantidad de bacterias, virus, hongos y parásitos diferentes pueden causar infecciones nosocomiales. Las infecciones pueden ser

causadas por un microorganismo contraído de otra persona en el hospital (infección cruzada) o por la propia flora del paciente (infección endógena). La infección por algunos microorganismos puede ser transmitida por un objeto inanimado o por sustancias recién contaminadas provenientes de otro foco humano de infección (infección ambiental). Antes de la introducción de las prácticas básicas de higiene y de los antibióticos al ejercicio de la medicina, las infecciones nosocomiales, en su mayoría, se debían a agentes patógenos de origen externo (enfermedades transmitidas por los alimentos y el aire, gangrena gaseosa, tétanos, etc.) o eran causadas por microorganismos externos a la flora normal de los pacientes (por ejemplo, difteria, tuberculosis). El progreso alcanzado en el tratamiento de las infecciones bacterianas con antibióticos ha reducido considerablemente la mortalidad por muchas enfermedades infecciosas.

Hoy en día, casi todas las infecciones nosocomiales son causadas por microorganismos comunes en la población en general, que es inmune o que sufre una enfermedad más débil que la causada a los pacientes hospitalizados (*Staphylococcus aureus*, estafilococos negativos a la coagulasa, enterococos y *Enterobacteriaceae*). (Organización Mundial de la Salud, 2002).

**Vulnerabilidad de los pacientes:** Los factores de importancia para los pacientes que influyen en la posibilidad de contraer una infección comprenden la edad, el estado de inmunidad, cualquier enfermedad subyacente y las intervenciones diagnósticas y terapéuticas. En las épocas extremas de la vida – la infancia y la vejez – suele disminuir la resistencia a la infección. Los pacientes con enfermedad crónica, como tumores malignos, leucemia, diabetes mellitus, insuficiencia renal o síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida) tienen una mayor vulnerabilidad a las infecciones por agentes patógenos oportunistas. Estos últimos son infecciones por microorganismos normalmente inocuos, por ejemplo, que forman parte de la

flora bacteriana normal del ser humano, pero pueden llegar a ser patógenos cuando se ven comprometidas las defensas inmunitarias del organismo. Los agentes inmunodepresores o la irradiación pueden reducir la resistencia a la infección. Las lesiones de la piel o de las membranas mucosas se producen sin pasar por los mecanismos naturales de defensa. La malnutrición también presenta un riesgo. Muchos procedimientos diagnósticos y terapéuticos modernos, como biopsias, exámenes endoscópicos, cateterización, intubación/respiración mecánica y procedimientos quirúrgicos y de succión aumentan el riesgo de infección. Ciertos objetos o sustancias contaminados pueden introducirse directamente a los tejidos o a los sitios normalmente estériles, como las vías urinarias y las vías respiratorias inferiores. (Organización Mundial de la Salud, 2002).

**Factores ambientales:** Los establecimientos de atención de salud son un entorno donde se congregan las personas infectadas y las expuestas a un mayor riesgo de infección. Los pacientes hospitalizados que tienen infección o son portadores de microorganismos patógenos son focos potenciales de infección para los demás pacientes y para el personal de salud. Los pacientes que se infectan en el hospital constituyen otro foco de infección. Las condiciones de hacinamiento dentro del hospital, el traslado frecuente de pacientes de una unidad a otra y la concentración de pacientes muy vulnerables a infección en un pabellón (por ejemplo, de recién nacidos, pacientes quemados, cuidados intensivos) contribuyen a la manifestación de infecciones nosocomiales. La flora microbiana puede contaminar objetos, dispositivos y materiales que ulteriormente entran en contacto con sitios vulnerables del cuerpo de los pacientes. Además, se siguen diagnosticando nuevas infecciones bacterianas, por ejemplo, por bacterias transmitidas

por el agua (micobacterias atípicas), además de infecciones víricas y parasitarias.(Organización Mundial de la Salud, 2002).

**Resistencia bacteriana:** Muchos pacientes reciben antimicrobianos. Por medio de selección e intercambio de elementos de resistencia genéticos, los antibióticos promueven el surgimiento de cepas de bacterias polifarmacorresistentes; se reduce la proliferación de microorganismos en la flora humana normal sensibles al medicamento administrado, pero las cepas resistentes persisten y pueden llegar a ser endémicas en el hospital. El uso generalizado de antimicrobianos para tratamiento o profilaxis (incluso de aplicación tópica) es el principal factor determinante de resistencia. En algunos casos, dichos productos son menos eficaces por causa de resistencia. Con la mayor intensificación del uso de un agente antimicrobiano, a la larga surgirán bacterias resistentes a ese producto, que pueden propagarse en el establecimiento de atención de salud. Hoy en día, muchas cepas de neumococos, estafilococos, enterococos y bacilos de la tuberculosis son resistentes a la mayor parte o la totalidad de los antimicrobianos que alguna vez fueron eficaces para combatirlos. En muchos hospitales son prevalentes *Klebsiella* y *Pseudomonas aeruginosa* polifarmacorresistentes. Este problema reviste importancia crítica particular en los países en desarrollo, donde quizá no se dispone de antibióticos de segunda línea más costosos o, si los hay, su precio es inasequible.(Organización Mundial de la Salud, 2002).

**Nanotecnología en Textiles:** El uso de nanomateriales y procesos basados en la nanotecnología está creciendo a un ritmo tremendo en todos los campos de la ciencia y la tecnología. La industria textil también está experimentando los beneficios de la nanotecnología en su diverso campo de aplicaciones. Los nanoproductos basados en textiles a partir de fibras

nanocompuestas, nanofibras y nanorecubrimientos poliméricos inteligentes de alto rendimiento se están abriendo camino no solo en aplicaciones avanzadas de alto rendimiento, sino que las nanopartículas también se utilizan con éxito en textiles convencionales para impartir nuevas funcionalidades y un mejor rendimiento. Una mayor repetibilidad, fiabilidad y robustez son las principales ventajas de los avances nanotecnológicos en los textiles. La aplicación de nanopartículas durante las técnicas de procesamiento de textiles convencionales, como el acabado, el revestimiento y el teñido, mejora el rendimiento del producto y ofrece una funcionalidad hasta ahora no alcanzada.

El área más investigada para producir fibras multifuncionales e inteligentes es la preparación de fibras nanocompuestas donde las propiedades excepcionales de las nanopartículas se han utilizado para mejorar e impartir varias funcionalidades en fibras convencionales de grado textil. Las nanofibras que tienen un tamaño de submicra en diámetro están ganando popularidad en algunas aplicaciones técnicas especializadas, como tela de filtro, parches antibacterianos, ingeniería de tejidos y trajes de protección química.(Joshi, 2011).

### **Tipos de textiles**

Los textiles son clasificados en dos tipos: textiles tejidos y textiles no tejidos, diferenciados principalmente por el entrelazado u orientación de sus fibras.

### **Textiles tejidos**

Acorde con la norma ASTM D4850, los textiles tejidos se definen como: “una estructura producida cuando al menos dos conjuntos de hebras están entrelazados, usualmente en ángulo

recto entre sí, de acuerdo con un patrón predeterminado de entrelazado, y tal que al menos un conjunto es paralelo al eje a lo largo de la dirección longitudinal de la tela”. (ASTM, 2015).

### **Textiles no tejidos.**

De acuerdo a la norma técnica colombiana NTC 3911 los textiles no tejidos se definen como: “Una hoja manufacturada, velo o material de fibras orientadas direccionalmente o al azar, unidas por fricción y/o cohesión y/o adhesión, excluyendo el papel y los productos que son tejidos, mallados, empenachados, unidos mediante puntadas incorporando hilos o filamentos ligados o fieltrados mediante batanado húmedo, que sean o no adicionalmente cosidos. Las fibras pueden ser de origen natural o hechas por el hombre y de filamentos discontinuos o continuos, o ser formadas in situ”.(ICONTEC, 1996).

### **Electrospinning:**

**Breve reseña Histórica:** Electrospinning es una técnica antigua. Fue observado por primera vez en 1897 por Rayleigh, estudiado en detalle por Zeleny (1914) sobre electropulverización, y patentado por Formhals en 1934. El trabajo de Taylor (1969) sobre chorros impulsados eléctricamente ha sentado las bases para la electrohilatación. El término "electrospinning", derivado de "spinning electrostático", se ha utilizado recientemente (alrededor de 1994), pero su origen se remonta a hace más de 60 años. Desde la década de 1980 y especialmente en los últimos años, el proceso de electrospinning ha recuperado más atención, probablemente debido a un creciente interés en la nanotecnología, ya que las fibras ultrafinas o estructuras fibrosas de diversos polímeros con diámetros hasta submicrones o nanómetros pueden fabricarse fácilmente con este proceso.



**Proceso de Electrospinning:** Electrospinning, una técnica de hilado, es un enfoque único que utiliza fuerzas electrostáticas para producir fibras finas a partir de soluciones de polímeros o fundidos y las fibras así producidas tienen un diámetro más fino (de nanómetro a micrómetro) y una superficie mayor que las obtenidas de los procesos de hilado convencionales. Además, es necesario un voltaje de CC en el rango de varias decenas de kV para generar el electrohilado. El electrospinning se lleva a cabo a temperatura ambiente con condiciones atmosféricas.

Básicamente, un sistema de electrospinning consta de tres componentes principales: una fuente de alimentación de alto voltaje, una hilera (por ejemplo, una punta de pipeta) y una placa recolectora conectada a tierra (generalmente una pantalla metálica, placa o mandril giratorio) y utiliza una fuente de alta tensión para inyecta carga de una cierta polaridad en una solución de polímero o fundido, que luego se acelera hacia un colector de polaridad opuesta. (Bhardwaj & Kundu, 2010).

Esta técnica ofrece un método simple para producir nanofibras de polímero. Ajustando el material y los parámetros de procesamiento, se puede lograr una amplia gama de diámetros de fibra, por lo general, entre algunas décimas de nanómetros y algunas micras.

La configuración típica de electrospinning funciona con una hilera simple: un pequeño capilar de metal. Está conectado a una fuente de alimentación de alta tensión. El material, destinado a ser hilado, suele ser una solución de polímero y se alimenta continuamente a través del capilar. Al comenzar el proceso, la solución forma una pequeña gota en la punta del capilar. Después de encender la fuente de alimentación, las cargas fluyen hacia la superficie de la gota (conductora). Como hay una alta concentración de carga en la superficie, la gota se deforma a una forma cónica también conocida como Taylor-cono. Después de alcanzar un límite específico, sale un chorro delgado de la punta. El jet evolucionado viaja a otro electrodo, el llamado colector

que está conectado a tierra. A medida que el disolvente se evapora continuamente, el chorro se solidifica y se pueden obtener nanofibras.(Molnár & Farkas, 2015).

**Tabla 4.**

***Parámetros de electrohilatura (solución, procesamiento y ambiente) y sus efectos sobre la morfología de la fibra.***

<b>Parámetros</b>	<b>Efecto en la morfología de la fibra</b>
<i>Parámetros de la solución</i>	
Viscosidad	Baja generación de cuentas, alto aumento en el diámetro de la fibra, desaparición de las cuentas
Concentración de polímero	Aumento del diámetro de la fibra con aumento de la concentración.
Peso molecular del polímero	Reducción en el número de gotas y gotitas con aumento de peso molecular.
Conductividad	Disminución del diámetro de la fibra con aumento de la conductividad.
Tensión superficial	Sin un vínculo concluyente con la morfología de la fibra, la alta tensión superficial da como resultado la inestabilidad de los chorros.
<i>Parámetros de procesamiento</i>	
Voltaje aplicado	Disminución del diámetro de fibra con aumento de voltaje
Distancia entre punta y colector	Generación de cuentas con una distancia demasiado pequeña y demasiado grande, distancia mínima requerida para fibras uniformes
Velocidad de alimentación / tasa de flujo	Disminución en el diámetro de la fibra con disminución en la velocidad de flujo, generación de perlas con un índice de flujo demasiado alto.
<i>Parámetros ambientales</i>	
Humedad	La alta humedad produce poros circulares en las fibras.
Temperatura	El aumento en la temperatura produce una disminución en el diámetro de la fibra.

**Fuente:** (Bhardwaj & Kundu, 2010).

**Nylon 6 ó poliamida-6:** Tal como se define en la Norma Une 40-286-79, las fibras de poliamida o nylon son las fibras químicas formadas a partir de un polímero de macromoléculas lineales sintéticas en cuya cadena se suceden grupos amida, de los que un mínimo del 85% están unidos a agrupaciones alifáticas o cicloalifáticas. El nombre de Nylon se aplica a toda amida polimerizada (poliamida) de larga cadena y obtenida sintéticamente a partir de grupos amidos, integrantes de la cadena total del polímero, y que es capaz de ser puesta en forma de filamento, tal que los elementos que lo forman, estén orientados en la dirección del eje.(Fite, n.d.).

Nylon 6 es un material polimérico biodegradable, biocompatible y sintético que posee buenas propiedades mecánicas y físicas. La poliamida-6 puede sintetizarse mediante las polimerizaciones de apertura de anillo de la caprolactama. La poliamida-6 tiene amplias aplicaciones en la industria textil, especialmente como materiales de alfombras textiles. En la ingeniería de tejidos, los andamios de polímero se realizaron mediante técnicas de electrohilado.(Nirmala et al., 2010).

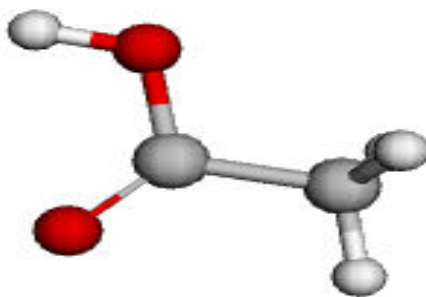
Las poliamidas, o también conocidas como nylon, son polímeros semicristalinos. Se distinguen dos tipos. Poliamidas estructuradas a partir de un solo material de partida y poliamidas estructuradas a partir de 2 materiales de partida. Las poliamidas poseen un magnífico cuadro de propiedades mecánicas, una tenacidad muy elevada y unas excelentes características de deslizamiento y resistencia al desgaste. Sus propiedades varían desde la dura y tenaz PA 66 hasta la blanda y flexible PA 12. En función del tipo de material, las poliamidas absorben diferentes cantidades de humedad, con lo cual se ven influenciadas las características mecánicas y la precisión dimensional.

En la fabricación de productos semielaborados se distinguen la extrusión y la colada. Mediante proceso la colada es posible fabricar productos semielaborados de poliamida de

mayores dimensiones y un grado de cristalización superior (mayor resistencia mecánica), los cuales contienen menos tensiones internas. Por el contrario, el método de extrusión permite fabricar con costes más bajos. (“Poliamida - Nylon,” n.d.).

- Una resistencia mecánica, dureza, rigidez y tenacidad medias-elevadas
- una elevada capacidad de amortiguación mecánica
- buena resistencia a la fatiga
- excelente resistencia al desgaste
- buenas propiedades de deslizamiento
- en la mayoría de los casos, elevada absorción de humedad
- en la mayoría de los casos, reducida estabilidad dimensional. (“Poliamida - Nylon,” n.d.)

### **Ácido Acético.**



***Figura 1. Estructura 3D, Ácido Acético.***

***Fuente: (“Acetic acid,” n.d.).***

El ácido acético es un producto de la oxidación del etanol y de la destilación destructiva de la madera. Se usa localmente, ocasionalmente internamente, como contrairritante y también como reactivo. (“Acetic acid,” n.d.).

Un ácido carboxílico sintético con propiedades antibacterianas y antifúngicas. Aunque su mecanismo de acción no se conoce completamente, el ácido acético no disociado puede mejorar la solubilidad de los lípidos permitiendo una mayor acumulación de ácidos grasos en la membrana celular o en otras estructuras de la pared celular. (“Tesaurus NCI,” n.d.).






Un líquido claro e incoloro con un fuerte olor a vinagre. Punto de inflamación 104 ° F. Densidad 8.8 lb / gal. Corrosivo para metales y tejidos. Se usa para fabricar otros productos químicos, como aditivo alimentario y en la producción de petróleo.(“ACETIC ACID, GLACIAL | CAMEO Chemicals | NOAA,” n.d.).

Líquido incoloro ¡peligro! Líquido y vapor inflamable. Corrosivo, puede ser nocivo si se absorbe a través de la piel. Causa severa irritación y quemaduras de piel, ojos tracto respiratorio y digestivo.(La, Preparado, & Empresa, n.d.).

### Indicadores químicos.

*Tabla 5.*

#### *Indicadores Químicos del ácido acético*

Diamante	Peligro	Valor	Descripción
	 Salud	3	Puede causar lesiones serias o permanentes.
	 Inflamabilidad	2	Debe calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas ambiente relativamente altas antes de que se produzca la ignición.
	 Inestabilidad	0	Normalmente estable, incluso en condiciones de incendio.
	 Especial		

**Fuente:** (“Acetic acid,” n.d.).

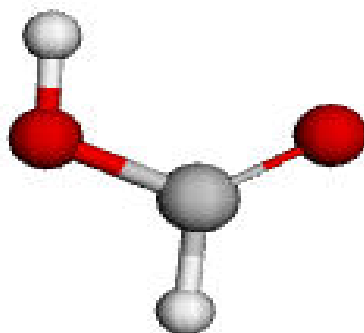
**Factores de Salud.**

**Posibles síntomas:** Irritación de los ojos, la piel; nariz, garganta; tos, dolor de garganta, ojos, quemaduras en la piel; ampollas, sensibilización de la piel; erosión dental; piel negra, hiperqueratosis; conjuntivitis, lagrimeo; dolor de cabeza, mareos; dificultad para respirar, edema faríngeo; bronquitis crónica; edema pulmonar (puede retrasarse); pérdida de visión; Ingestión Aguda: Dolor abdominal, sensación de ardor, vómitos, diarrea; hemólisis, hemoglobinuria, insuficiencia renal; choque o colapso. (“Chemical Sampling Information | Acetic acid | Occupational Safety and Health Administration,” n.d.).

**Efectos sobre la salud:** Irritación: ojos, nariz, garganta, piel; Asma, daño pulmonar.

**Órganos afectados:** Ojos, piel, sistema respiratorio, dientes.

**Notas:** Las mezclas de vapor / aire de ácido acético pueden ser explosivas a temperaturas superiores a 39 ° C. (“Chemical Sampling Information | Acetic acid | Occupational Safety and Health Administration,” n.d.).

**Ácido Fórmico:**

*Figura 2. Estructura 3D Acido fórmico.*

*Fuente: ("Formic Acid," n.d.)*

El ácido fórmico (sistemáticamente llamado ácido metanoico) es el ácido carboxílico más simple. ("Formic Acid," n.d.).

Es un líquido incoloro con un olor penetrante. Punto de inflamación 156 ° F. Densidad 10.2 lb / gal, Corrosivo para metales y tejidos. ("FORMIC ACID | CAMEO Chemicals | NOAA," n.d.).

**Reacciones de aire y agua**

Humos en el aire Soluble en agua con liberación de calor.






**Peligro para la salud**

El líquido causa quemaduras en la piel y los ojos. Los vapores son irritantes y dolorosos para respirar. La exposición al vapor puede causar náuseas y vómitos.

## Indicadores químicos

*Tabla 6.*

### *Indicadores químicos del ácido fórmico.*

Diamante	Peligro	Valor	Descripción
	 Salud	3	Puede causar lesiones serias o permanentes.
	 Inflamabilidad	2	Debe calentarse moderadamente o exponerse a temperaturas ambiente relativamente altas antes de que se produzca la ignición.
	 Inestabilidad	0	Normalmente estable, incluso en condiciones de incendio.
	 Especial		

**Fuente:** (“FORMIC ACID | CAMEO Chemicals | NOAA,” n.d.).

**Nanofibras poliméricas:** Recientemente, ha habido un interés creciente en la producción de nanofibras que tienen un tamaño de tamaño submicrónico. Típicamente, el diámetro de fibra ultrafino soplado en estado fundido convencional varía de 2000 a 5000 nm, mientras que las nanofibras poliméricas varían de 50 a 500 nm. Las nanofibras se caracterizan por tener un área superficial extraordinariamente alta por unidad de masa (por ejemplo, nanofibras con 100nm de diámetro tienen una superficie específica de 1000 m<sup>2</sup>/g) alta porosidad y peso ligero. Estas propiedades únicas de las nanofibras los hacen candidatos potenciales para una amplia gama de aplicaciones, como filtración, telas de barrera, indumentaria protectora, toallitas y aplicaciones biomédicas, como andamios para ingeniería de tejidos. Electrospinning es un proceso que produce nanofibras poliméricas continuas (diámetro en rango submicrométrico) a través de una acción de un campo eléctrico externo impuesto sobre una solución de polímero o fundido.



Recientemente, el electrospinning también se ha extendido a la fabricación de nanofibras a partir de nanocompuestos de polímeros, que incorporan nanoarcillas, CNT y otras nanopartículas y añaden una nueva dimensión a las nanofibras. Estas fibras nanocompuestas cuando se depositan sobre sustratos textiles se pueden utilizar además para telas del fabricante, materiales antiestáticos, materiales de protección electromagnética, medio de separación de alto rendimiento, materiales de refuerzo, materiales de conductividad eléctrica y térmica, materiales de absorción de ondas, etc. (Joshi, 2011).

### **Nanopartículas (NPs) con propiedades antibacterianas:**

Dentro de estos materiales promisorios, las nanopartículas antibacterianas inorgánicas tales como la plata (Ag), el óxido de zinc (ZnO), el dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>), han atraído una atención especial debido a su alta estabilidad al estar en contacto con sistemas biológicos.

Los agentes antibacterianos inorgánicos tales como los metales y los óxidos de metal poseen ventajas en comparación con compuestos orgánicos debido a su estabilidad y bioseguridad. Dentro de estos materiales promisorios, las nanopartículas de plata, óxido de zinc y dióxido de titanio han atraído una atención especial. (Betancur Henao, Hernández Montes, & Buitrago Sierra, 2016).

### **Nanopartículas de plata (NP-Ag):**

La plata metálica no nanopartícula da tiene una larga historia en exitosas aplicaciones médicas. Estudios recientes han mostrado que en su forma de nanopartículas son altamente efectivas como agentes antimicrobiales contra bacterias y virus, incluso el VIH. (Morales, Morán, Quintana, & Estrada, 2009).

Se sabe que las nanopartículas de Ag tienen fuertes efectos inhibidores y antibacterianos, así como un amplio espectro de actividades antimicrobianas. El aumento en la concentración del Ag acelera la disminución en bacterias. Con solo una pequeña cantidad de Ag, casi todas las bacterias inicialmente inoculadas podrían esterilizarse en una semana. (Yeum Jeong Hyun, Park Jae Hyeung, & Choi Jae Young, 2006).

En diversos estudios se han observado las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas de plata tanto en virus como en bacterias. Se ha determinado que las nanopartículas de plata tienen efecto en bacterias Gram negativas como *Escherichia coli*, *Vibrio cholera*, y *Pseudomonas aeruginosa* y, Gram positivas como *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* (Shrivastava et al., 2007) y *Enterococcus faecalis*.(Ayala Nuñez, 2010).

Los iones  $Ag^+$  y los compuestos basados en Ag son altamente tóxicos para varios microorganismos, lo que los hace candidatos interesantes para múltiples aplicaciones en el campo médico. Ag se usa generalmente como sal de nitrato, pero en forma de nanopartículas de Ag (NP-Ag) aumenta el área de la superficie y, por lo tanto, la eficacia antimicrobiana aumenta mucho. Aunque las Ag-NPs encuentran uso en muchas aplicaciones antibacterianas, la acción de este metal sobre los microbios no se conoce del todo. Se ha formulado la hipótesis de que las nanopartículas de plata pueden causar lisis celular o inhibición del crecimiento a través de diversos mecanismos. La letalidad de la plata para las bacterias también se puede explicar en parte por las reacciones del grupo tiol que inactivan las enzimas. El tratamiento con plata inhibe la replicación del ADN, la expresión de proteínas ribosómicas y otras proteínas celulares, e interfiere con la cadena de transporte de electrones bacteriana.(Salem et al., 2015).

**Nanopartículas de óxido de zinc (NP- ZnO):**

El óxido de zinc (ZnO), como un material con propiedades atractivas, ha atraído un gran interés en todo el mundo, particularmente debido a la implementación de la síntesis de partículas de tamaño nanométrico. Los nanomateriales de ZnO se pueden utilizar en la industria como dispositivos nano-ópticos y nanoeléctricos, en el envasado de alimentos y en medicina como agentes antimicrobianos y antitumorales. El creciente enfoque en el óxido nano de zinc dio como resultado la invención y el desarrollo de métodos de síntesis de nanopartículas. Las NP de ZnO exhiben atractivas propiedades antimicrobianas contra bacterias (Gram-positivas y Gramnegativas) y hongos. Los nanocompuestos de óxido de zinc también muestran toxicidad selectiva hacia células normales y cancerosas, lo que se explica por la formación de oxígeno reactivo (ROS). Sin embargo, a pesar de la actividad antitumoral potencialmente interesante de las nanopartículas de ZnO, se ha demostrado que también pueden ser citotóxicas y genotóxicas para múltiples tipos de células humanas (es decir, células neuronales o epiteliales). (Król, Pomastowski, Rafińska, Railean-Plugaru, & Buszewski, 2017).

El óxido de Zinc (ZnO) es un agente antibacteriano muy fuerte. Las nanopartículas de óxido de zinc presentan diferentes morfologías y muestran una inhibición significativa del crecimiento de un amplio espectro de especies bacterianas. Los diversos mecanismos antibacterianos de los nanomateriales están principalmente relacionados con su alta relación superficie / volumen y sus propiedades fisicoquímicas únicas. (Król et al., 2017).

Se han informado varios mecanismos para la actividad antibacteriana de ZnO-NP. Por ejemplo, las NP-ZnO pueden interactuar con los lípidos de la membrana y desorganizar la estructura de la membrana, lo que conduce a la pérdida de integridad de la membrana, mal funcionamiento y finalmente a la muerte bacteriana. ZnO también puede penetrar en las células

bacterianas a nivel nanométrico y producir radicales tóxicos de oxígeno, que dañan el ADN, las membranas celulares o las proteínas celulares, y finalmente pueden conducir a la inhibición del crecimiento bacteriano y finalmente a la muerte bacteriana. (Salem et al., 2015).

### **Nanopartículas de Dióxido de titanio (NP-TiO<sub>2</sub>):**

Debido a sus propiedades físicas, químicas y ópticas características, el dióxido de titanio es una herramienta atractiva para uso en una amplia gama de aplicaciones biológicas, de consumo, industrial y terapéutica. Sin embargo, el dióxido de titanio ha demostrado tener potencial para ejercer efectos inmunomoduladores e inmunotóxicos. Las células del sistema inmune interiorizan fácilmente el dióxido de titanio y las nanopartículas de plata, pueden acumularse en órganos linfoides periféricos y pueden influir en múltiples manifestaciones de la actividad de las células inmunitarias, incluida la producción de citoquinas, la proliferación, la activación de inflamomas, la producción de especies reactivas de oxígeno y la expresión de moléculas de adhesión. La biocompatibilidad de las nanopartículas con las células del sistema inmunitario es algo variable, pero parece depender de la composición central, el tamaño, la concentración y la duración de la exposición celular. Debido a que el dióxido de titanio y las nanopartículas de plata son ampliamente utilizados en productos farmacéuticos, comerciales e industriales, es vital que se evalúen más a fondo sus efectos sobre la salud humana y la función del sistema inmunitario. (Lappas, 2015).

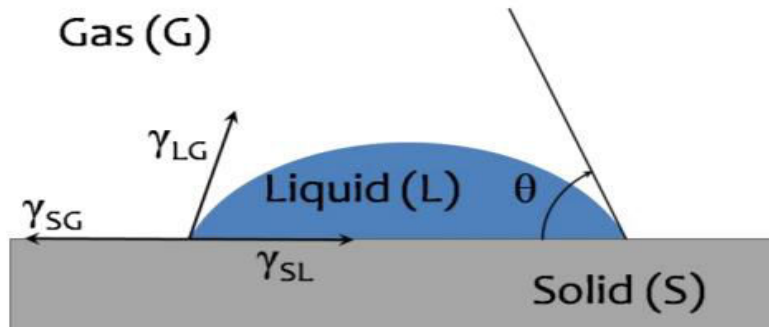
### **Ensayos de laboratorio:**

**Ensayos mecánicos:** Los ensayos mecánicos sirven para comprobar cuál es la respuesta que ofrecen ciertos materiales al ser manipulados. Mediante distintos esfuerzos mecánicos se fuerza al límite el material. De esta forma podemos comprobar cuál es la resistencia que

presentan. Conocer este tipo de información es vital para destinar unos materiales a un servicio u otro. (“Ensayos mecánicos: Tipos y funciones | SCI,” n.d.).

**Ensayos de Tensión:** Este ensayo es utilizado para medir la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Esta prueba consiste en alargar una probeta de ensayo por fuerza de tensión, ejercida gradualmente, con el fin de conocer ciertas propiedades mecánicas de materiales en general: su resistencia, rigidez y ductilidad.(Lawrence., 2008).

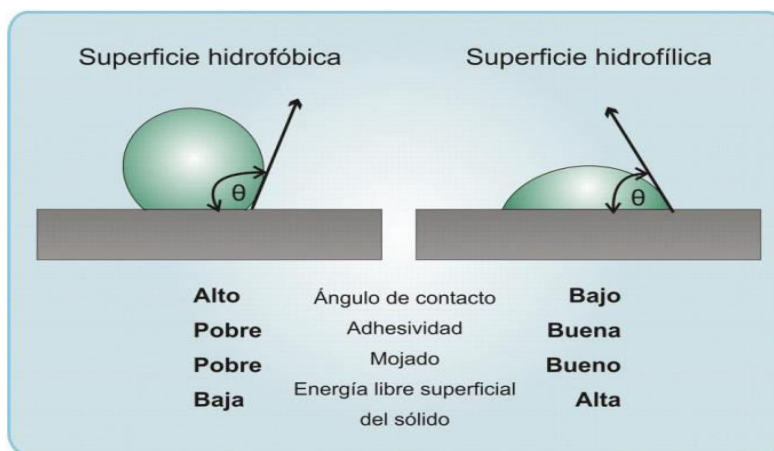
**Ensayo de Angulo de contacto:** Se define el ángulo de contacto como el ángulo que forma la superficie de un líquido al entrar en contacto con una superficie sólida. El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación existente entre las fuerzas adhesivas del líquido y del sólido y las fuerzas cohesivas del propio líquido. Cuando una fase líquida y una fase sólida entran en contacto, forman una interfase común. La mojabilidad es la capacidad de los sólidos para formar interfases con los líquidos. La mojabilidad de un determinado sólido por un líquido viene determinada por el ángulo de contacto  $\theta$ , como se muestra en la Figura 2. En ella se representa esquemáticamente una gota de líquido (L) reposando en equilibrio sobre una superficie sólida horizontal (S) en una atmósfera de gas (G).(Rodríguez, 2010).



**Figura 3.** Representación esquemática de una gota sésil de líquido (L) reposando en equilibrio sobre una superficie sólida horizontal (S) en una atmósfera de gas (G). Ángulo de contacto y tensiones en el punto triple.

**Fuente:** (Rodríguez, 2010).

Una superficie en la cual la gota forma un ángulo de contacto mayor que  $90^\circ$ , es una superficie hidrofóbica. Esta condición implica que la mojabilidad, adhesividad y la energía superficial del sólido son bajas. En cambio, si la superficie es hidrofílica, se observará un ángulo de contacto menor a  $90^\circ$  y tanto la mojabilidad, adhesividad como la energía superficial del sólido serán altas (Figura 4.2). (ASTM G-15, Standard Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing, 2003).



**Figura 4.** Esquema representando los ángulos de contacto de una superficie hidrofóbica e hidrofílica y las distintas propiedades de los mismos.

**Fuente:** (ASTM G-15, Standard Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing, 2003).

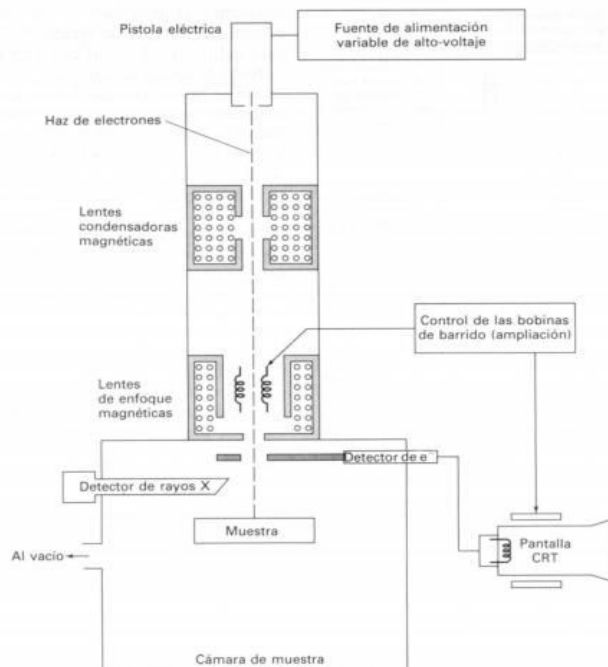
**Principios generales de la Microscopía Electrónica de Barrido (Scanning Electron Microscope, SEM):** El microscopio electrónico de barrido, conocido por sus siglas inglesas SEM, utiliza electrones en lugar de luz para formar una imagen. Para lograrlo, el equipo cuenta con un dispositivo (filamento) que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores se recogen después los electrones generados de la interacción con la superficie de la misma para crear una imagen que refleja las características superficiales de la misma, pudiendo proporcionar información de las formas, texturas y composición química de sus constituyentes. (“full-text,” n.d.).

Los electrones se generan mediante un cañón de electrones y consiste en un filamento caliente de tungsteno, que tiene normalmente un diámetro de 0.1 mm y está doblado en forma de horquilla con un extremo en forma de V. El filamento catódico se mantiene a un potencial de 1 a 50 kV respecto al ánodo colocado en el cañón. Rodeando el filamento hay una cápsula, o cilindro

de Wehnelt, que está cargada negativamente respecto al filamento. El efecto del campo eléctrico en el cañón es el de provocar que los electrones emitidos converjan sobre un punto minúsculo llamado la zona de paso que tiene un diámetro  $d_0$ .

Los sistemas de lentes magnéticas, condensadoras y de enfoque, que se muestra en la figura 1 sirven para reducir la imagen en la zona de paso ( $d_0 = 10 - 50 \mu\text{m}$ ) a un tamaño final sobre la muestra de 5 a 200 nm. El sistema de lentes condensador, que puede constar de una o más lentes, es el responsable de que el haz de electrones llegue a las lentes de enfoque y éstas son las responsables del tamaño del haz de electrones que incide en la superficie de la muestra. Con un SEM el barrido se lleva a cabo mediante los dos pares de bobinas localizadas entre las lentes del objetivo (véase figura 1); uno de los pares desvía el haz en la dirección X hacia la muestra y el otro lo desvía en la dirección Y. El barrido se controla mediante aplicación de una señal eléctrica a uno de los pares de las bobinas de barrido, de manera que el haz de electrones alcanza la muestra al lado del eje central del sistema de lentes. Variando en función del tiempo la señal eléctrica de este par de bobinas (esto es, las bobinas X), el haz de electrones se mueve en una línea recta a lo largo de la muestra y entonces vuelve a su posición inicial. Después de realizar este barrido lineal, se utiliza el otro par de bobinas (bobinas Y en este caso) para desviar el haz ligeramente y de nuevo se repite el movimiento del haz utilizando las bobinas X. Así, mediante movimientos rápidos del haz, la superficie entera de la muestra puede ser irradiada con el haz de electrones. Las señales que comandan las bobinas de barrido pueden ser analógicas o digitales; los barridos digitales tienen la ventaja de que ofrecen un movimiento y una colocación muy reproducible del haz de electrones; además la señal S de la muestra puede ser codificada y almacenada en la forma  $S(X,Y)$ .(González, 2008).





**Figura 5.** Esquema de SEM.

**Fuente:** (González, 2008).

### **2.3.Marco legal.**

#### **Universidad Francisco de Paula Santander de Colombia:**

Acuerdo 065 de 1996: El cual establece el estatuto estudiantil que es el regente actual en la institución (superior universitario, 1996).

Artículo 140. El estudiante podrá optar por una de las siguientes modalidades del trabajo de grado:

a. Proyecto de investigación

Monografía

Trabajo de investigación: generación o aplicación de conocimientos sistematización del conocimiento

b. Proyecto de extensión.

Trabajo social.

Labor de consultoría en aquellos proyectos en los cuales participe la universidad.

Pasantía.

Trabajo dirigido.

PARAGRAFO 1. El estudiante podrá optar como componente alterna al proyecto de grado, créditos especiales como cursos de profundización académica o exámenes preparatorios.

PARAGRAFO 2. Para algunos planes de estudio y de acuerdo a sus características el consejo académico podrá obviar la presentación del trabajo de grado.

Artículo 141. El proyecto de grado incluye las siguientes etapas:

a. Presentación del anteproyecto o plan de trabajo según corresponda a la modalidad del proyecto seleccionado.

b. Desarrollo de la investigación o ejecución física del proyecto.

c. Sustancias de la investigación y/o verificación o aval de la realización del proyecto.

PARAGRAFO. Para todas las modalidades de proyecto de grado, el estudiante deberá presentar un informe final avalado por su director.

Artículo 142. Las condiciones y procedimientos para la presentación, desarrollo y evolución de cada una de las modalidades de trabajo de grado, o sus componentes alternas, harán parte de la reglamentación específica de cada facultad, para cada plan de estudios.

PARAGRAFO. La universidad incorporara los trabajos de grado, como componente básico de su hacer y creara bancos de proyectos en los departamentos académicos y en la vicerrectoría asistente de investigación y extensión.

La Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, presenta a los lectores un documento guía para la adaptación de la última edición del Manual de publicaciones de la American Psychological Association, (Norma APA), para la redacción de trabajos de investigación, trabajos de grado y trabajos de aula. Este documento presenta un resumen de los aspectos de mayor consulta por parte de los estudiantes y docentes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña en lo referente a contenido, estilo, citación, referenciación, presentación de tablas y figuras, entre otras.(Francisco & Santander, 2012).

**Normas para ensayos:**

**ASTM International:** (Estándares de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales) (ASTM International), fundada como la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales, es una organización sin fines de lucro que desarrolla y publica aproximadamente 12,000 estándares técnicos, que cubren los procedimientos de prueba y clasificación de materiales de todo tipo. (“ASTM ASTM International,” n.d.).

**NORMA ASTM D 882-12:** Este método de prueba cubre la determinación de las propiedades de tracción de los plásticos en forma de láminas delgadas y películas (menos de 1.0 mm (0.04 in) de espesor). Este método de prueba puede usarse para probar todos los plásticos dentro del rango de espesor descrito y la capacidad de la máquina empleada. (ASTM International, 2012).

**ASTM D7490:** Método de prueba estándar para la medición de la tensión superficial de recubrimientos sólidos, sustratos y pigmentos utilizando mediciones de ángulo de contacto. Este método de prueba describe un procedimiento para la medición de ángulos de contacto de dos líquidos, uno polar y el otro no polar, de tensión superficial conocida sobre un sustrato, pigmento (en la forma de un disco), o curada o aire revestimiento seco con el fin de calcular las propiedades superficiales (tensión superficial y su dispersión y componentes polares) del sólido. (ASTM, 2013).

### **3. Capítulo 3. Diseño metodológico**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Este proyecto será desarrollado bajo el enfoque de investigación experimental dado que permite la identificación de relaciones causales entre entidades o eventos. La investigación experimental consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular. (“LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL | noemagico,” n.d.).

En este caso es sintetizar las cubiertas poliméricas en blanco y las nanopartículas que contengan las mayores propiedades bactericidas y/o bacteriostáticas, para hacerles un comparativo mediante las pruebas mecánicas, para determinar que tanto influyen las nanopartículas bactericidas y/o bacteriostáticas en la resistencia a la tracción en la cubierta polimérica.

Que será dirigido y analizado el avance del proyecto por el director del proyecto Edwin Espinel Blanco, y por los asesores Nelson Escobar Mora y Lina Marcela Hoyos Palacio.

#### **3.2. Población**

La población en esta investigación corresponde a la síntesis del ácido fórmico, con el ácido acético y nylon 6 en él electrospinning, ya que este será la cubierta polimérica en blanco, para poder determinar sus propiedades físicas mecánicas.

#### **3.3. Muestra.**

En esta investigación se tuvieron en cuenta muchas muestras, para poder realizar el desarrollo del proyecto, veremos más detallada a continuación.

Ensayos para la síntesis del nylon 6, con el ácido acético y ácido fórmico, para encontrar la verdadera síntesis del material= 18 muestras.

**Tabla 7**

**Relación ácido fórmico: ácido acético [4:1]**

Variables del equipo	Muestra de Nylon-6 no tejido					
	1	2	3	4	5	6
Porcentaje Nylon-6(%) en peso	10	10	10	10	10	10
Voltaje equipo (kV)	15	16	17	18	19	20
Distancia aguja-colector (cm)	15	15	15	15	15	15
Caudal (ml/h)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Temperatura ambiente (°C)	22,8	22,8	22,8	22,8	22,3	22,3
Humedad ambiente (%)	65	65	62,4	62,4	58,3	58,3
Tiempo de electrohilado (horas)	1	1	1	1	1	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 8**

**Relación ácido fórmico: ácido acético [3:2]**

Variables del equipo	Muestra de Nylon-6 no tejido					
	1	2	3	4	5	6
Porcentaje Nylon-6(%) en peso	10	10	10	10	10	10
Voltaje equipo (kV)	15	16	17	18	19	20
Distancia aguja-colector (cm)	15	15	15	15	15	15
Caudal (ml/h)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Temperatura ambiente (°C)	23	23	23,2	23,2	22,8	22,8
Humedad ambiente (%)	63	63	65,4	65,4	71,5	71,8
Tiempo de electrohilado (horas)	1	1	1	1	1	1

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 9****Relación ácido fórmico: ácido acético [2:3]**

Variables del equipo	Muestra de Nylon-6 no tejido					
	1	2	3	4	5	6
Porcentaje Nylon-6(%) en peso	10	10	10	10	10	10
Voltaje equipo (kV)	15	16	17	18	19	20
Distancia aguja-colector (cm)	15	15	15	15	15	15
Caudal (ml/h)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Temperatura ambiente (°C)	23	23	23,2	23,2	22,8	22,8
Humedad ambiente (%)	63	63	65,4	65,4	71,5	71,8
Tiempo de electrohilado (horas)	1	1	1	1	1	1

**Fuente:** Elaboración propia

Para la caracterización físico mecánica= 12 muestras.

**Tabla 10****Número de probetas por ensayo**

Prueba a realizar	Numero de probetas
Ensayo de tracción	10
Ensayo de ángulo de contacto	2

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.4. Técnicas de recolección de información

La técnica que se utilizará en este proyecto es la observación experimental, ya que se elabora en condiciones relativamente controladas por el investigador, particularmente porque éste puede manipular la o las variables. (Investigadores, 2011). Ya que consiste en mirar y analizar la cubierta intencionada, como va evolucionando las síntesis de las cubiertas poliméricas, además que se debe comprender y escudriñar muy bien el objeto de estudio, para así precisar y saber cuál es la síntesis que tiene mejores propiedades, para poder sintetizarlo, y determinar cómo influyen las propiedades mecánicas en la cubierta polimérica.

### **3.5. Instrumentos de recolección de información:**

Los instrumentos de recolección de información, serán las pruebas de síntesis que se realizan en el laboratorio, para establecer las variables exactas, para el proceso de síntesis de la cubierta polimérica en el electrospinning.

Equipo de electrospinning – Universidad Pontificia Bolivariana.

Equipo de ángulo de contacto – Universidad Pontificia Bolivariana.

Maquina universal para ensayos marca INSTRON 5582- Universidad Pontificia Bolivariana.

Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM 6490 LV - Universidad Pontificia Bolivariana.

### **3.6 Fases del Proyecto.**

Se plantearan las fases del proyecto, para el desarrollo de los objetivos específicos, anteriormente planteados.

#### **Fase I. Estado del arte y Recolección de Información**

- Búsqueda de artículos científicos relacionados con cubiertas poliméricas no tejidas de poliamida N° 6, donde se hayan trabajado con solventes de ácido fórmico y ácido acético, además de las técnicas de electro hilado.
- Analizar la información recolectada, conociendo todas las ventajas de la poliamida 6, del ácido fórmico, ácido acético y del procedimiento correcto de la técnica de electro hilado.
- Planteamiento de variables, para realizar la síntesis de la cubierta polimérica.

#### **FASE II: Elaboración y pruebas del material**

- Realizar la síntesis de la cubierta polimérica mediante ensayos, y de acuerdo a la literatura investigada; teniendo en cuenta, las porciones del solvente, con el material polimérico.



- Elaboración de las muestras.
- Realizar pruebas de Microscopia electrónica de barrido *SEM-EDX*.
- Someter a pruebas de Angulo de contacto.
- Someter a pruebas de Resistencia a la rotura de textiles no tejidos.

### **Fase III. Análisis de los Resultados.**

- Analizar las estructuras obtenidas mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM) con el fin de conocer su estructura interna, así como el tamaño y la distribución de los nanofibras.
- Realizar mediante ensayos de tracción y ángulo de contacto las cubiertas poliméricas estableciendo sus propiedades para uso hospitalario.
- Analizar los resultados mediante pruebas mecánicas que se realizaron en la maquina universal de ensayos a las cubiertas poliméricas y los las pruebas de ángulo de contacto.

## **4. Capítulo 4. Desarrollo del proyecto por medio de las actividades propuestas**

A continuación se presentan la resolución de las fases para el desarrollo de la investigación propuesta.

### **4.1.Fase I. Estado del arte y Recolección de Información**

#### **4.1.1 Revisión en artículos científicos relacionados con Nylon 6, ácido fórmico, ácido acético.**

Para la revisión de los artículos, se consultaron diferentes bases de datos de las cuales se describirán a continuación:

Science Direct Es importante base de datos bibliográficos multidisciplinar del grupo Elsevier que proporciona artículo de más de 2.500 revistas científicas de calidad y artículos de más de 11.000 libros. Ahora, enero de 2010 tiene más 9,5 millones de documentos de alta calidad científica. La búsqueda documental es muy potente y sofisticada, lo que permite recuperar una gran cantidad de información pertinente en función de los términos empleados para buscar. (“Infobiblio. Información Bibliográfica: Scopus y Science Direct. Qué utilizar,” n.d.).

Scopus: Es una base de datos bibliográfica también multidisciplinar y también de Elsevier que igualmente contempla artículos de revistas científicas. Su contenido es mucho mayor: 18.000 títulos de los cuales 16.500 son revistas revisadas entre pares, 600 publicaciones institucionales, más de 400 colecciones de libros... El contenido de Scopus es mucho mayor que el de Science Direct. (“Infobiblio. Información Bibliográfica: Scopus y Science Direct. Qué utilizar,” n.d.).

SciELO - Scientific Electronic Library Online (Biblioteca Científica Electrónica en Línea) es un modelo para la publicación electrónica cooperativa de revistas científicas en Internet. Especialmente desarrollado para responder a las necesidades de la comunicación científica en los países en desarrollo y particularmente de América Latina y el Caribe, el modelo proporciona una solución eficiente para asegurar la visibilidad y el acceso universal a su literatura científica, contribuyendo para la superación del fenómeno conocido como 'ciencia perdida'. Además, el Modelo SciELO contiene procedimientos integrados para la medida del uso y del impacto de las revistas científicas. ("Modelo SciELO : Sobre el SciELO : SciELO - Scientific Electronic Library Online," n.d.).

REDALYC- Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Proyecto impulsado por la Universidad Autónoma de Estado de México (UAEM), con el objetivo de contribuir a la difusión de la actividad científica editorial que se produce en y sobre Iberoamérica. ("Redalyc," n.d.).

Dialnet es un proyecto de cooperación bibliotecaria que comenzó en la Universidad de La Rioja. Se constituye como un portal que recopila y proporciona acceso fundamentalmente a documentos publicados en España en cualquier lengua, publicados en español en cualquier país o que traten sobre temas hispánicos. Los contenidos incluyen artículos de revistas, capítulos de monografías colectivas, tesis doctorales, libros, etc. Su amplia cobertura convierte a Dialnet en la mayor base de datos de artículos científicos hispanos accesible de modo gratuito en Internet. (España, 2010).

#### **4.1.2 Planteamiento de variables, para realizar la síntesis de la cubierta polimérica.**

De acuerdo a la literatura consultada y a las variables a tener en cuenta para la síntesis de la cubierta polimérica en el electrospinning son:

Variables del Equipo en el Electrospinning:

- Relación ácido acético/fórmico.
- Porcentaje Nylon-6(%) en peso.
- Voltaje equipo (kV).
- Distancia aguja-colector (cm).
- Caudal (ml/h).
- Temperatura ambiente (°C).
- Humedad ambiente (%).
- Tiempo de electrohilado (horas).
- Número de capas del electrohilado.

### **4.2.Fase II. Elaboración y pruebas del material**

#### **4.2.1 Síntesis de la cubierta polimérica mediante ensayos en el electrospinning.**

##### **➤ Desarrollo de un tejido por la técnica de electrohilado**

Se escogió el nylon-6 como el material polimérico base para electrohilar un no tejido. Los solventes usados fueron ácido acético  $\geq 99,7\%$  (Sigma- Aldrich, CAS 64-19-7) y ácido fórmico  $\geq 95\%$  (Sigma-Aldrich, CAS 64-18-6). Se utilizaron diferentes relaciones ácido acético/fórmico para observar cuales afectan la morfología de las fibras nanométricas.

Debido a que las propiedades químicas de las soluciones de electrohilado afectan el desempeño del equipo y en consecuencia la morfología del no tejido. Según los resultados obtenidos, se modificaron las variables del equipo para obtener fibras nanométricas con morfología definida establecida por SEM (JEOL JSM 6490 LV).

Las variables del equipo modificadas fueron el voltaje (kV), la distancia aguja-colector (cm), y el caudal (ml/h). La temperatura (°C) y humedad (%) correspondieron a las condiciones ambientales al momento de la obtención de la muestra y no fueron manipuladas.

Las muestras de no tejido fueron caracterizadas por SEM (JEOL JSM 6490 LV) en alto vacío con el fin de obtener imágenes en alta resolución. Las muestras se fijaron en una cinta de grafito y se les realizó un recubrimiento delgado en oro (Au) (DENTON VACUUM Desk IV). Se empleó el detector de electrones secundarios para evaluar la morfología y topografía de las muestras; el diámetro de las fibras se analizó a partir del software ImageJ.

#### ➤ **Desarrollo de un no tejido por la técnica de electrohilado**

Se prepararon dieciocho soluciones con diferente relación ácido acético/fórmico a partir de las cuales se modificaron las variables del equipo y se obtuvieron dieciocho muestras iniciales de Nylon-6 no tejido.

Las **Muestras 1** se montaron en el electrospinning en forma lineal utilizando los dos equipos al mismo tiempo, ósea dos montajes en el lugar de trabajo pero cambiando el voltaje, cada uno en una pared, 1 hora cada muestra, con una cantidad de 1ml de solución en una jeringa 21G-5ml.

Relación: 4:1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

10%Wt Nylon, en 10ml de solución, **Polímero Nylon= 1,084gr de Nylon.**

**Disolvente= 4:1** [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

**Ácido Fórmico= 7,2 ml**

**Ácido Acético= 1,8 ml**

Relación: W/v.

#### **Muestra 1,1**

Relación: 4.1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 15Kv

Humedad: 65%

Temperatura: 22,8 °C

#### **Muestra 1,2**

Relación: 4.1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 16Kv

Humedad: 65%

Temperatura: 22,8 °C

#### **Muestra 1,3**

Relación: 4.1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 17Kv

Humedad: 62,4%

Temperatura: 22,8 °C

#### **Muestra 1,4**

Relación: 4.1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 18Kv

Humedad: 62,4%

Temperatura: 22,8 °C

**Muestra 1,5**

Relación: 4.1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 19Kv

Humedad: 58,3%

Temperatura: 22,3 °C

**Muestra 1,6**

Relación: 4.1 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 20Kv

Humedad: 58,3%

Temperatura: 22,3 °C

Las **Muestras 1**, presentaron mucha gota en la muestra, y caía mucha gota en el piso-papel, además presentaba ruido eléctrico, cuando el voltaje era mayor o igual a 16Kv. Por lo tanto, se descartan todas las muestras anteriores.

Las **Muestras 2** se montaron en el electrospinning en forma lineal utilizando los dos equipos al mismo tiempo, ósea dos montajes en el lugar de trabajo, pero cambiando el voltaje, cada uno en una pared, 1 hora cada muestra, con una cantidad de 1ml de solución en una jeringa 21G- 5ml.

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

10%Wt Nylon, en 10ml de solución, **Polímero Nylon= 1,084gr de Nylon.**

**Disolvente= 3:2** [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

**Ácido Fórmico= 5,4 ml**

**Ácido Acético= 3,6 ml**

Relación: **W/v.**

**Muestra 2,1**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 15Kv

Humedad: 64,4%

Temperatura: 23,2 °C

**Muestra 2,2**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 16Kv

Humedad: 64,4%

Temperatura: 23,2 °C

Las muestras 2,1 y 2,2 presentaron pequeñas gotas en la muestra, y una fibra más delgada de lo normal, además presentaba gota en el piso-papel.

**Muestra 2,3**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 17Kv

Humedad: 65,4%

Temperatura: 22,9 °C

**Muestra 2,4**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 18Kv

Humedad: 65,4%

Temperatura: 22,9 °C

Las muestras 2,3 y 2,4 presentaron poca gota en la muestra y en el piso, pero se descartan debido a que tienen pocas gotas pero son muy grandes esas gotas.



**Muestra 2,5**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 19Kv

Humedad: 71,5%

Temperatura: 22,8 °C

**Muestra 2,6**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 20Kv

Humedad: 71,5%

Temperatura: 22,8 °C

Las Muestras 2,5 y 2,6 fueron mucho más uniformes que todas las anteriores muestras, la muestra 2,5 con 19Kv, fue una muestra con una fibra uniforme, sin gotas en la muestra y muy poca en el piso, por lo tanto esta muestra fue llevada hacerle análisis SEM, para determinar la información morfológica y topográfica sobre la superficie de la nano fibra. La muestra 2,6 fue una fibra muy delgada, más de lo normal, por eso se descarta, además que presento goteo en el piso-papel.

Las **Muestras 3** se montaron en el electrospinning en forma lineal utilizando los dos equipos al mismo tiempo, ósea dos montajes en el lugar de trabajo, pero cambiando el voltaje, cada uno en una pared, 1 hora cada muestra, con una cantidad de 1ml de solución en una jeringa 21G- 5ml.

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

10%Wt Nylon, en 10ml de solución, **Polímero Nylon= 1,084gr de Nylon.**

**Disolvente= 2:3** [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

**Ácido Fórmico= 3,6 ml**

**Ácido Acético= 5,4 ml**

Relación: W/v.

**Muestra 3,1**

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 15Kv

Humedad: 72,3%

Temperatura: 23 °C

**Muestra 3,1**

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 16Kv

Humedad: 72,3%

Temperatura: 23 °C

Las muestras 3,1 y 3,2 presentaron pequeñas gotas en la muestra, y una que otra gota muy grande en la muestra, era una fibra más delgada de lo normal, además presentaba gota en el piso-papel.

**Muestra 3,3**

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 17Kv

Humedad: 77,9%

Temperatura: 22,3°

**Muestra 3,4**

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 18Kv

Humedad: 77,9%

Temperatura: 22,3°C

Las Muestras 3,3 y 3,4 fueron fibras mucho más uniformes que las anteriores muestras 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético], la muestra 3,3 con 17Kv, fue una fibra muy delgada, más

de lo normal, por eso se descarta, además que presento goteo en el piso-papel. La muestra 3,4 con 18Kv fue una muestra con una fibra uniforme, sin gotas en la muestra y muy poca en el piso, por lo tanto esta muestra fue llevada hacerle análisis SEM, para determinar la información morfológica y topográfica sobre la superficie de la nano fibra.

### **Muestra 3,5**

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 19Kv

Humedad: 77,3%

Temperatura: 22,6°C

### **Muestra 3,6**

Relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Voltaje: 20Kv

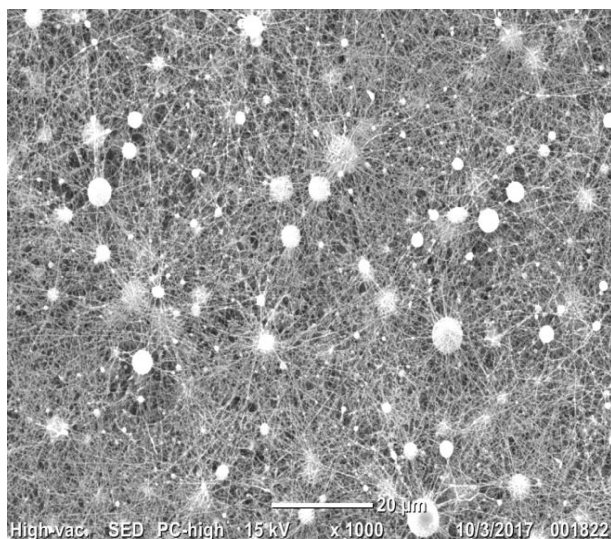
Humedad: 77,3%

Temperatura: 22,6°C

Aunque estas fibras las muestras 3,5 y 3,6 no presentaron mucha gota, en la muestra ni en el piso- papel, vemos que es una fibra no muy uniforme, además es muy delgada, más de lo normal; por eso descartamos estas fibras.

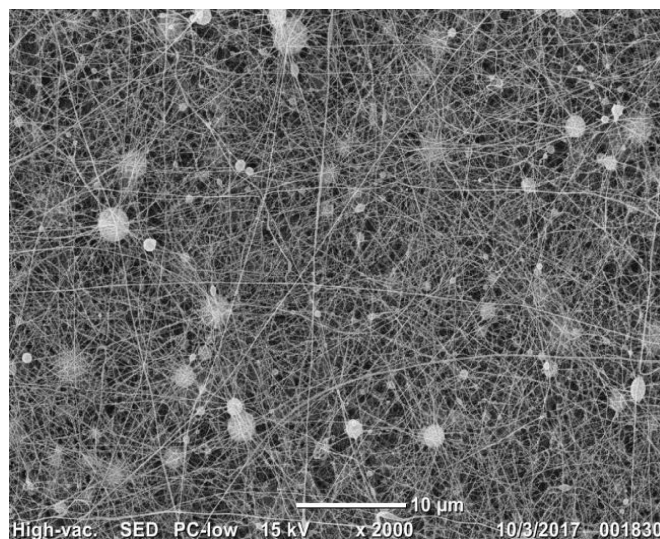
Se realizaron análisis SEM, para determinar la información morfológica y topográfica sobre la superficie de la nano fibra, de la muestra 2,5 con relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético] con 19Kv y de la muestra 3,4 con relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético] con 18Kv. Las imágenes se muestran a continuación:

## Muestra 2,5



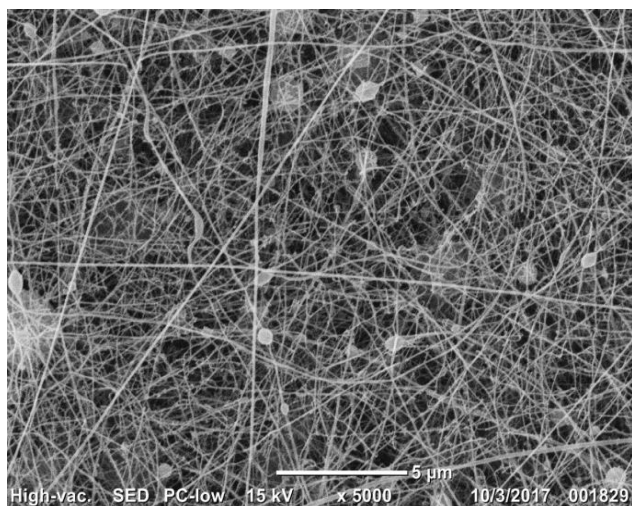
**Figura 6. Imagen SEM de las nanofibras X1000**

**Fuente:** Elaboración propia.



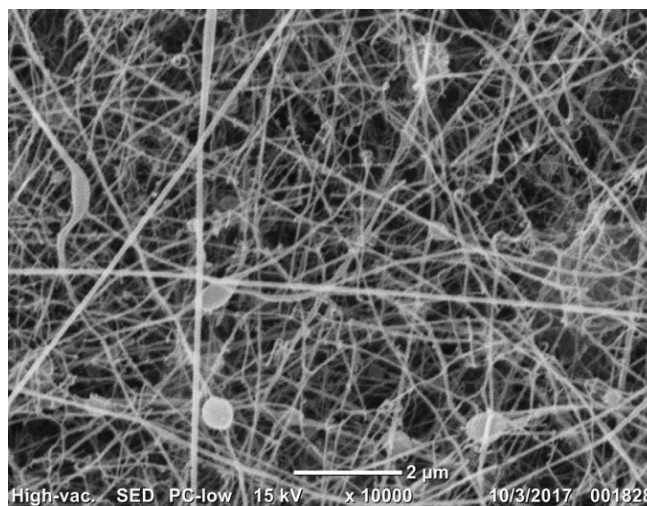
**Figura 7 Imagen SEM de las nanofibras X2000**

**Fuente:** Elaboración propia.



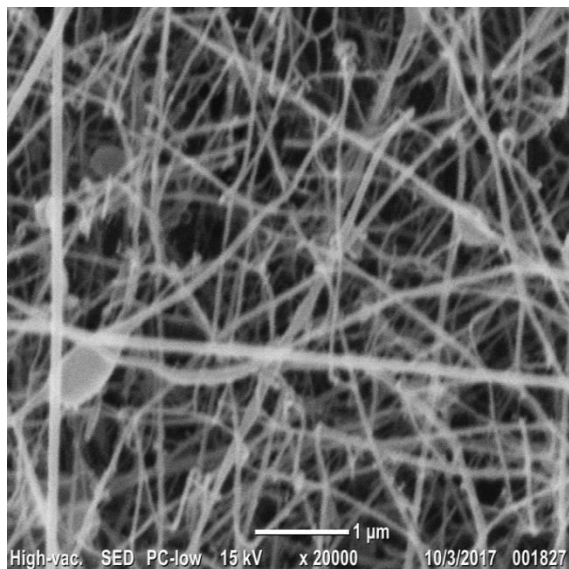
**Figura 8 Imagen SEM de las nanofibras X5000**

**Fuente:** Elaboración propia.



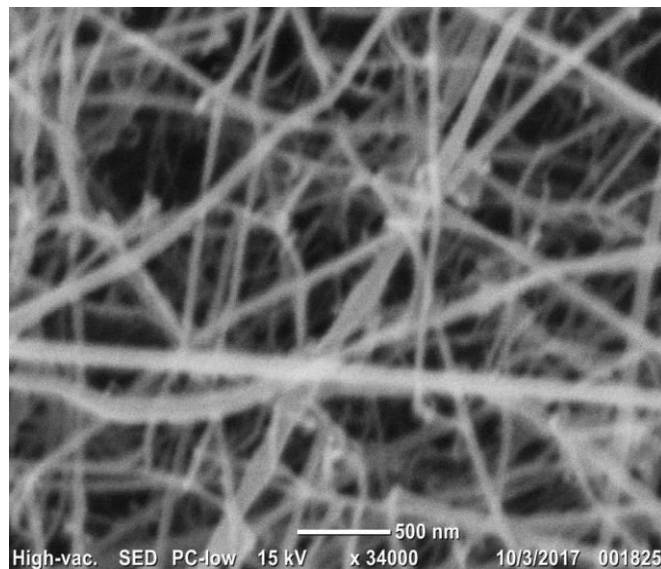
**Figura 9 Imagen SEM de las nanofibras X1000**

**Fuente:** Elaboración propia.



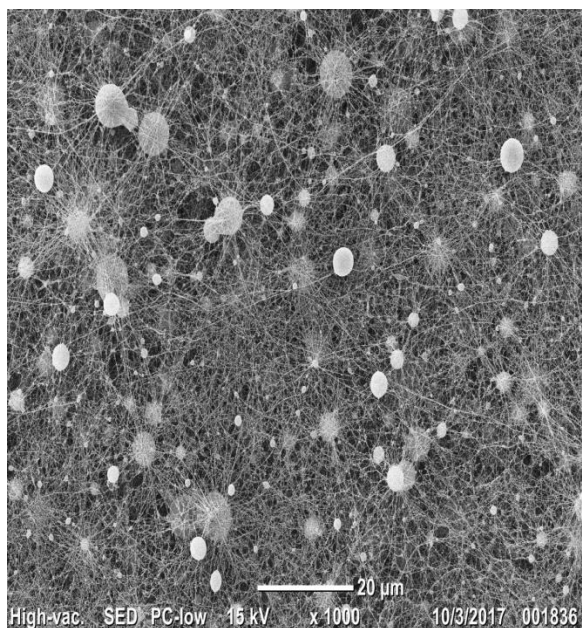
**Figura 10** Imagen SEM de las nanofibras X2000

**Fuente:** Elaboración propia.



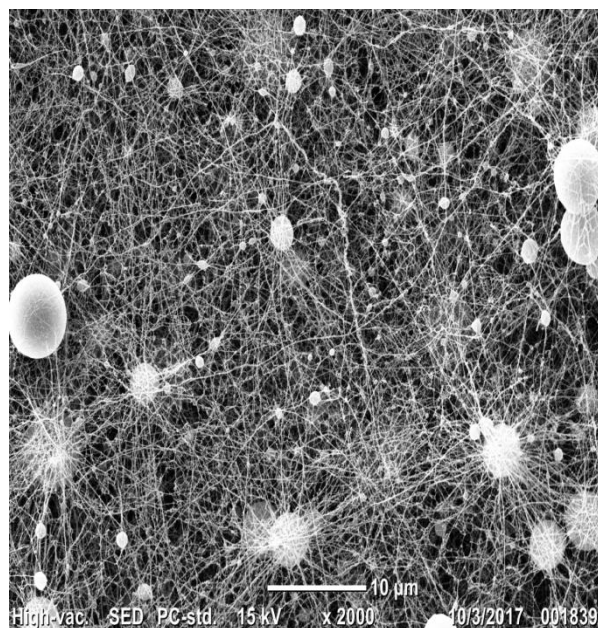
**Figura 11** Imagen SEM de las nanofibras X34000

**Fuente:** Elaboración propia.

**Muestra 3,4**

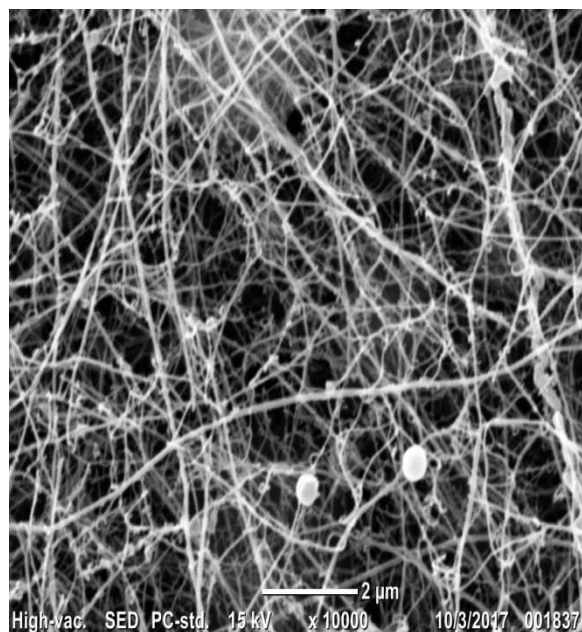
**Figura 12** Imagen SEM de las nanofibras X1000

**Fuente:** Elaboración propia.



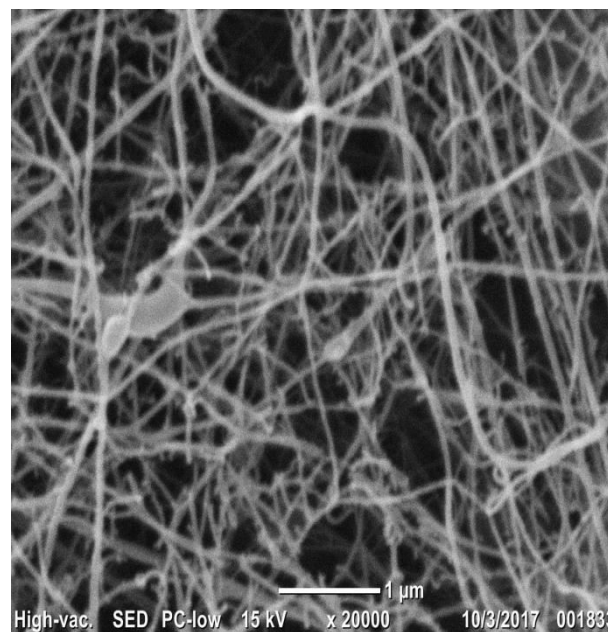
**Figura 13** Imagen SEM de las nanofibras X2000

**Fuente:** Elaboración propia.



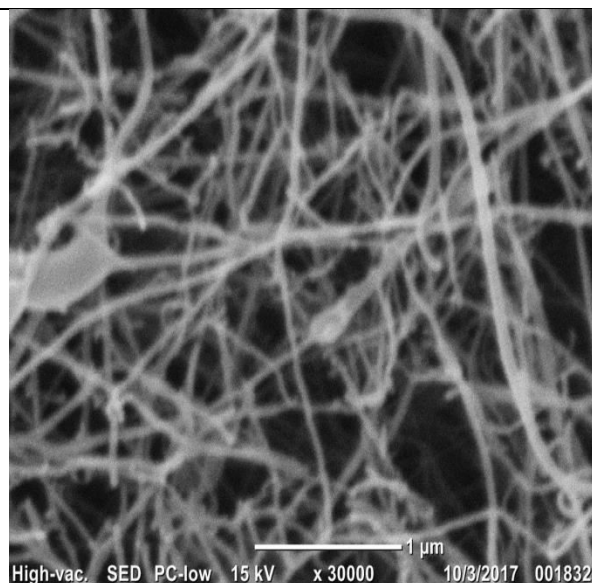
**Figura 14** Imagen SEM de las nanofibras X2000

**Fuente:** Elaboración propia.



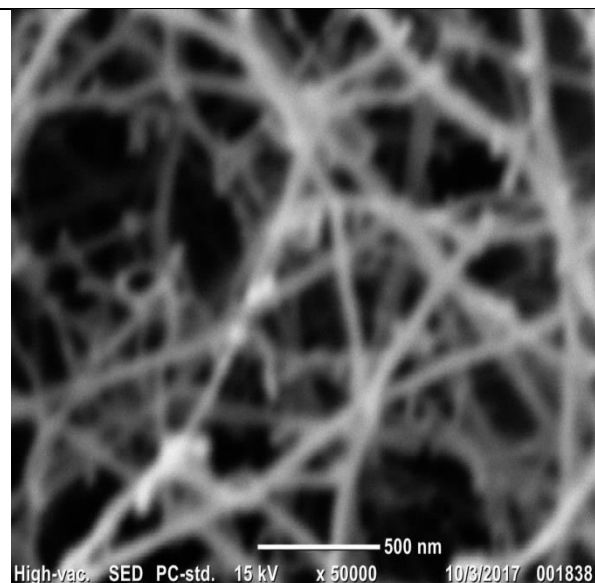
**Figura 15** Imagen SEM de las nanofibras X20000

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 16** Imagen SEM de las nanofibras X30000

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 17** Imagen SEM de las nanofibras X50000

**Fuente:** Elaboración propia.

Gracias a estas imágenes que se le realizaron a las muestras mediante SEM, se puede decir que la muestra que se va a electrohilar es la muestra 2,5 con relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]; ya que la muestra 3,4 con relación: 2:3 [Ácido Fórmico: Ácido Acético], presenta una nanofibra poco continua y mucho goteo en la muestra.

Ya tenemos la relación del solvente, que es 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético], pero a observación microscópica, el no tejido tuvo bajo espesor y presentó gotas. Para lograr incrementar el espesor, se modificaron algunas variables del equipo y se realizaron cuatro muestras adicionales a partir de la relación 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético], modificando condiciones del electrospinning como son: aumentar y disminuir el voltaje, la velocidad de inyección y extensión del tiempo de electrohilado.

Las Muestras se montaron en el electrospinning en forma rotatoria utilizando el equipo, 2 horas cada muestra, con una cantidad de 1ml de solución en una jeringa 21G- 5ml. En total se utilizaron 4 jeringas.

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

10% Wt Nylon, en 10ml de solución, **Polímero Nylon= 1,084gr de Nylon.**

**Disolvente= 3:2** [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

**Ácido Fórmico= 5,4 ml**

**Ácido Acético= 3,6 ml**

Relación: **W/v.**



**Muestra 1**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,1ml/h

Revoluciones: 20RPM

Voltaje: 19Kv

Humedad: 67,1%

Temperatura: 22°C

**Observaciones:**

El montaje presentó poco ruido eléctrico, no presenta gotas en el piso- papel. La muestra no presenta gotas, es una fibra uniforme, y es un espesor adecuado, con respecto al tiempo que duro montada la muestra en el equipo.

**Muestra 2**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,1ml/h

Revoluciones: 20RPM

Voltaje: 15Kv

Humedad: 70,5%

Temperatura: 21,8°C

**Observaciones:** El montaje presentó poco ruido eléctrico, pero presenta gotas en el piso- papel. La muestra presenta gotas pequeñas, por lo tanto no es una fibra uniforme. Además tiene muy poco espesor la fibra.

**Muestra 3**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,1ml/h

Revoluciones: 20RPM

Voltaje: 17Kv

Humedad: 71%

Temperatura: 21,5°C

**Observaciones:**

El montaje presentó poco ruido eléctrico, pero presenta muchas gotas en el piso- papel. La muestra presenta gotas pequeñas y grandes, por lo tanto no es una fibra uniforme. Además tiene muy poco espesor la fibra.

**Muestra 4**

Relación: 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético]

Distancia: 15cm

Caudal: 0,3ml/h

Revoluciones: 20RPM

Voltaje: 17Kv

Humedad: 69,7%

Temperatura: 21,3°C

**Observaciones:**

El montaje presentó poco ruido eléctrico, pero presenta muchas gotas en el piso- papel. La muestra presenta muchas gotas pequeñas, por lo tanto no es una fibra uniforme. Además tiene muy poco espesor la fibra.

Analizando las anteriores muestras, vemos que la que mejor presenta las condiciones para el desarrollo del trabajo, es la muestra 1 con relación 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético], por lo tanto decidimos que esta muestra, con las condiciones del equipo electrospinning, ya mencionadas, son las óptimas para el desarrollo del trabajo.

Por lo tanto para verificar que estas condiciones son las óptimas, realizamos una última prueba de 8 horas recorridas en el equipo con las condiciones de la muestra 1, y la muestra presenta una fibra muy uniforme, sin gotas, ni en la muestra, ni en el piso-papel. Entonces podemos decidir confiadamente que esta es la fibra adecuada para el desarrollo del trabajo.

#### **4.2.2 Determinación de la Resistencia a la Tracción de una Cubierta Polimérica no tejida.**

Este ensayo permite determinar la resistencia a la tracción y el desplazamiento máximo de la cubierta polimérica no tejida utilizando la norma de determinación tracción de los plásticos en forma de láminas delgadas y películas (menos de 1.0 mm (0.04 in) de espesor) norma ASTM D 882.

Dicho método de ensayo es de aplicación cuando se desea determinar la resistencia de un material plástico no tejido, con espesores menores a 1 mm, un ancho específico, junto con la resistencia adicional aportada por el material adyacente y consiste en aplicar una carga concentrada, creciente y continua, a lo largo de una probeta hasta lograr su rotura y de esta forma obtener los valores de la carga de rotura y el desplazamiento a partir de las escalas de la máquina de tracción.

La mayoría de las cubiertas poliméricas no tejidas se pueden ensayar por esta norma. En algunos casos puede ser necesaria una adaptación especial del equipo para evitar que se deslicen las probetas de las mordazas o que sean dañadas como resultado de ser retenidas en éstas, lo que se realiza es colocar mordazas con antideslizantes. Este ensayo es necesario para conocer las propiedades mecánicas de dicha cubierta polimérica no tejida.

### **Realización del ensayo**

En el plano internacional existen distintas Normas para realizar este ensayo, por ejemplo la Norma ASTM D 882, por la cual se han realizado los ensayos que se describen más adelante en la presente tesis.

Para realizar el ensayo se necesita una máquina de ensayos de tracción, del tipo de velocidad de extensión constante (CRE) o velocidad constante de la travesa (CRT), con registrador gráfico de fuerza Vs tiempo y esfuerzo Vs deformación. La máquina de tracción con la que cuenta la UPB de Medellín con sede en laureles es una máquina de tracción universal.

Las mordazas con las que cuenta la máquina empleada deben tener todas las superficies de agarre paralelas, planas, y evitar el deslizamiento de la probeta durante el ensayo, o sea con mordazas especial antideslizamiento.

Una de las caras de la mordaza, era de 40 mm por 15 mm, con su lado mayor paralelo a la dirección de aplicación de la carga. La otra cara debe ser, como mínimo, igual a su compañera.

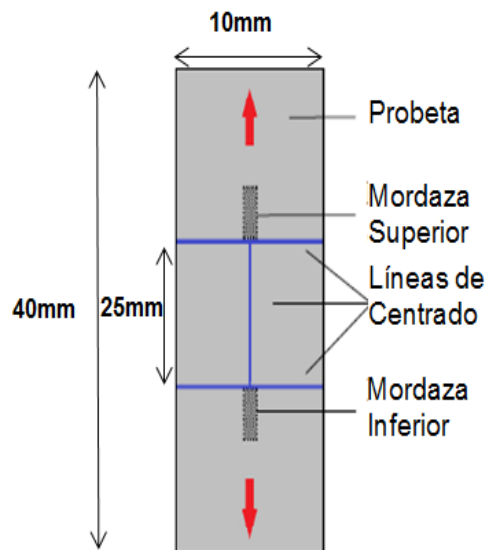
En cuanto a las probetas, las mismas deben ser rectangulares de 10,0 mm por 40,0 mm. En este ensayo se tuvo 1 muestra de la cubierta polimérica, de las cuales, a la muestra se le realizaron 5 ensayos longitudinalmente y 5 ensayos transversalmente, cortadas horizontal y

verticalmente en dirección de la fabricación, para lograr un buen resultado del ensayo. El presente trabajo se desarrolla con las probetas en estado seco.

### **Procedimiento para la realización del ensayo de tracción**

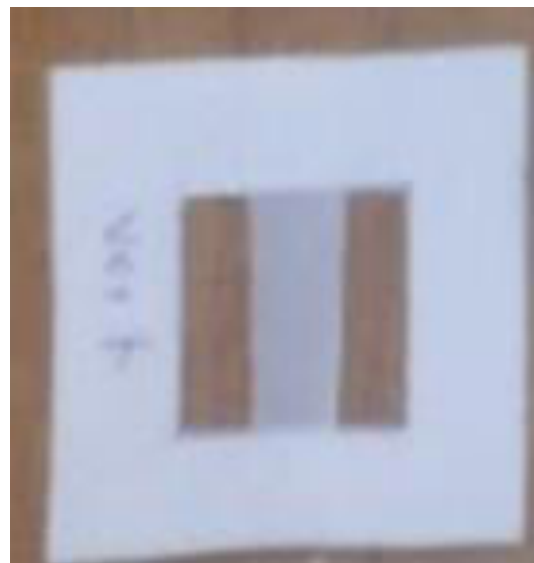
Primero se debe fijar la distancia entre las mordazas en el comienzo del ensayo a 25 mm  $\pm$  1 mm y se selecciona el intervalo de cargas de la máquina de ensayo tal que la carga máxima ocurra entre el 10% y el 90% de la escala de carga completa. La máquina debe operar a una velocidad de 10 mm/min,  $\pm$  0,1 mm/min por lo que habrá que configurarla para lograr la tracción a dicha velocidad. Luego se coloca la probeta en las mordazas de forma tal que el lado más largo resulte el traccionado y en forma centrada, para lo cual se hace coincidir la línea vertical dibujada a los 5mm del borde de la probeta con el centro de la mordaza, logrando de esta manera el centrado longitudinal y para lograr el centrado transversal se deben hacer coincidir las líneas horizontales marcadas a los 7,5mm del borde con el lateral de las mordazas, manteniendo de esta forma los 25mm necesarios entre mordaza y mordaza.

Ver figura N° 18 y la figura N° 19 que muestran la probeta con sus líneas de centrado.



**Figura 18** Probeta con líneas de centrado.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 19** Probeta real de la muestra.

**Fuente:** Elaboración propia.

Colocada la probeta en las mordazas (Foto N°3) se pone en funcionamiento la máquina de ensayo (Foto N°4 y N°5) y se efectúa el ensayo hasta la rotura (Foto. N°6 y N° 7 se detiene la máquina y se registran e informan los resultados para cada dirección separadamente, estos resultados son:

- La carga de rotura promedio para probetas cortadas en cada dirección, para todas las probetas que dan roturas aceptables, expresada en kilonewton.
- El desplazamiento aparente promedio, de probetas cortadas en cada dirección, para todas las probetas que dan roturas aceptables, se da en milímetros. Se identifica esto como “desplazamiento de rotura” como lo requieren las especificaciones del ensayo.



**Figura 20** Probeta colocada en la máquina.

**Fuente:** Elaboración propia.



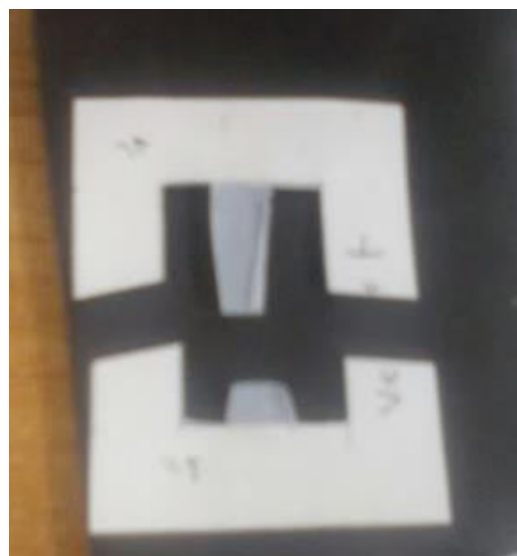
**Figura 21** Probeta durante el ensayo

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 22** Probeta durante el ensayo.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 23** Probeta una vez culminado el ensayo.

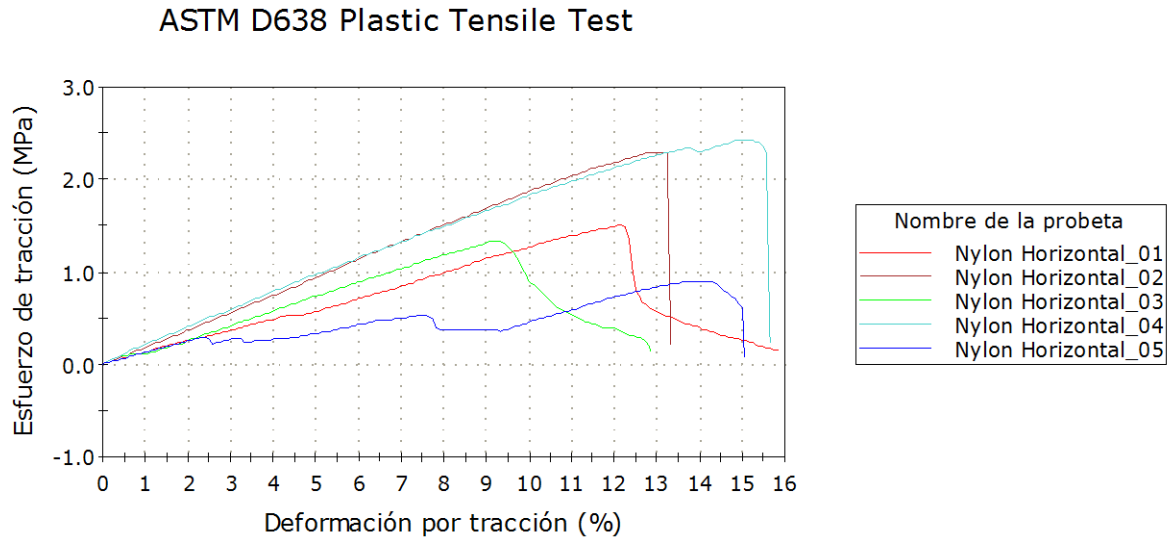
**Fuente:** Elaboración propia.

Debe aclararse que si una probeta se desliza entre las mordazas, se rompe en el borde o por cualquier razón atribuida a una operación defectuosa, el resultado que se obtiene queda muy por debajo del promedio del conjunto de probetas, se le descarta y se toma otra hasta que se

obtenga el número requerido de roturas aceptables (cinco en cada dirección de ensayo). También se descartan aquellos valores obtenidos de probetas cuya rotura ocurra en la mordaza, es decir cualquier rotura que ocurra dentro de los 1,5 mm de las mordazas y que a su vez de un valor por debajo del 80% del promedio de los otros valores. Por otra parte si las roturas son provocadas por un daño a las probetas producido por las mordazas, se descartan los resultados obtenidos de dicha probeta. Sin embargo si la rotura se debe a zonas débiles del material distribuido al azar en las probetas, los resultados se consideran perfectamente legítimos. En algunos casos, las roturas pueden provocarse por una concentración de tensiones en el área adyacente a las mordazas, en tal caso es inevitable una rotura en el borde de la mordaza y se acepta tal como una característica de la cubierta polimérica cuando se le hace el ensayo.

A continuación, se muestra el informe de los resultados de las telas poliméricas ensayadas, que entrega la máquina de tracción una vez concluido el ensayo. En este caso se muestra el informe del ensayo de la cubierta polimérica, en modo horizontal.

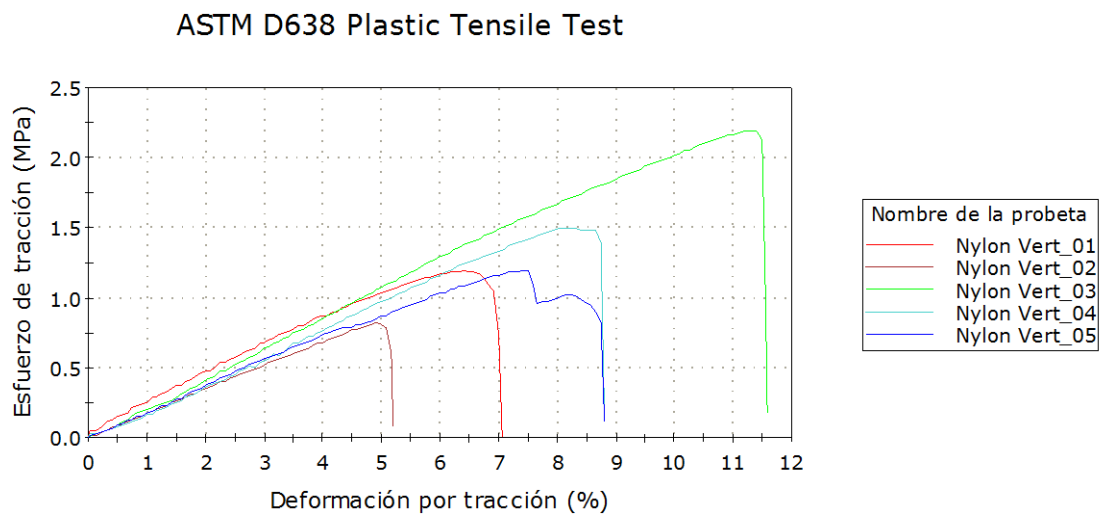




**Figura 24** Resultados de los ensayos de tracción en modo horizontal.

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación, se muestra el informe de uno de los ensayos a tracción que se le realizaron a las telas poliméricas, que entrega la máquina de tracción una vez concluido el ensayo. En este caso se muestra el informe del ensayo de la cubierta polimérica, en modo vertical.



**Figura 25** Resultados de los ensayos de tracción en modo vertical.

**Fuente:** Elaboración propia.

Es de anotar que los resultados de todos los valores de las gráficas, en donde se hicieron los ensayos de tracción serán adjuntados en anexos.

#### 4.2.3 Determinación de la Medición del ángulo de contacto.



**Figura 26** Equipo de ángulo de contacto de la UPB de Medellín

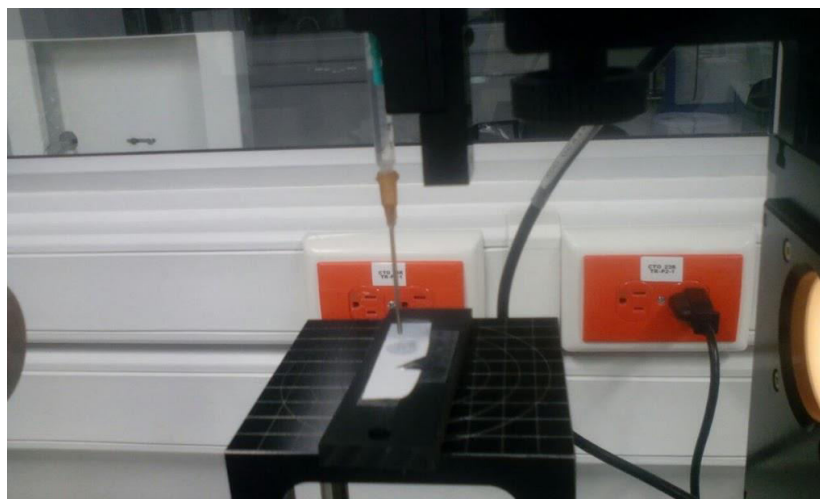
**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo a la norma ASTM D 7490 para medir ángulos de contacto, dice la literatura que ángulo de contacto, es el ángulo interior que forma una gota entre el sustrato y una tangente dibujada en la intersección entre la gota y el sustrato, este es el ángulo formado por un líquido en el límite de tres fases donde se cruzan un líquido, un gas (aire) y un sólido.(ASTM, 2013).



**Figura 27** Probeta para realizar ángulo de contacto

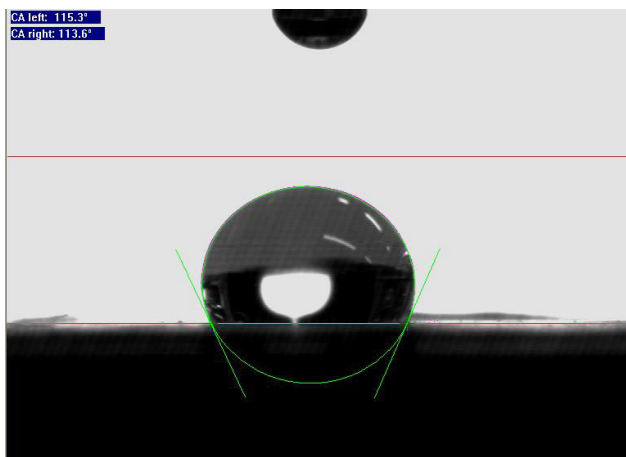
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 28** Probeta durante el ensayo.

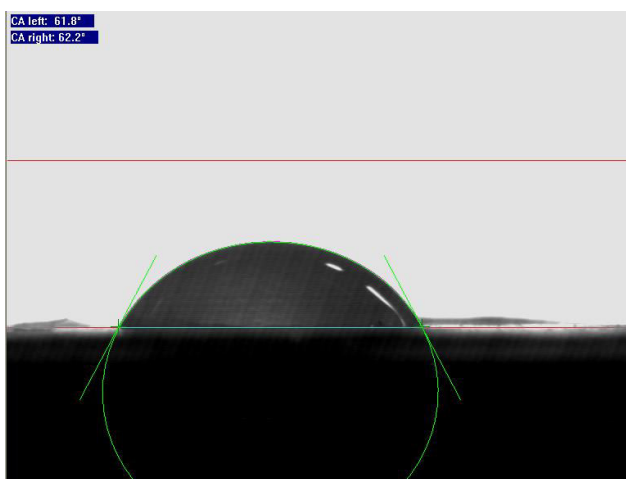
**Fuente:** Elaboración propia.

La humectabilidad de las cubiertas poliméricas se midió con medidas de ángulo de contacto de agua destilada usando un medidor de ángulo de contacto. El agua destilada se dejó caer automáticamente en la cubierta polimérica. La medición se llevó a cabo a al instante que cae la gota y a los 20 segundos después que cae la gota a la cubierta polimérica.



**Figura 29** Ángulo de contacto inmediatamente cae la gota de agua a la cubierta polimérica.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 30** Ángulo de contacto 20 segundos después de caer la gota de agua a la cubierta polimérica.

**Fuente:** Elaboración propia.

Cabe resaltar que los resultados de todos los ángulos que se registraron, serán adjuntados en anexos.

### **4.3.Análisis de los Resultados**

#### **4.3.1 Análisis de las estructuras obtenidas mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).**

Analizando las muestras y verificando las imágenes que nos proporciona el SEM, vemos que la que mejor muestra que presenta las mejores condiciones para el desarrollo del trabajo, es la muestra 1 con relación 3:2 [Ácido Fórmico: Ácido Acético], por lo tanto decidimos que esta muestra, con las condiciones del equipo electrospinning, ya mencionadas, son las mejores para el desarrollo del trabajo.

En el análisis de conocer su estructura interna, así como el tamaño y la distribución de los nanofibras vemos que el diámetro promedio de fibras a partir del software ImageJ arrojó un diámetro de 350 nm. Que es un diámetro adecuado para fines a futuros, para la síntesis de nanopartículas a la cubierta polimérica.

Por lo tanto para verificar que estas condiciones son las óptimas, realizamos una última prueba de 8 horas recorridas en el equipo con las condiciones de la muestra 1, y la muestra presenta una fibra muy uniforme, sin gotas, ni en la muestra, ni en el piso-papel. Entonces podemos decidir con confianza que esta es la fibra adecuada para el desarrollo del trabajo.

### **4.3.2 Análisis de las pruebas mecánicas que se realizaron en la maquina universal de ensayos a las cubiertas poliméricas.**

En la gráfica de la figura 24 Resultados de los ensayos de tracción en modo horizontal se puede apreciar el comportamiento de la cubierta polimérica colocada en una posición horizontal a la dirección del rotor, como fue realizada la cubierta polimérica en el electrospinning, el cual da como resultado el valor medio del esfuerzo de tracción de 1.10609 Mpa y con una desviación estándar de 0.51427, el módulo de elasticidad fue de 16.549 Mpa con una desviación estándar de 3.08702.

En la gráfica de la figura 25 Resultados de los ensayos de tracción en modo vertical se puede apreciar el comportamiento de la cubierta polimérica colocada en una posición vertical a la dirección del rotor, como fue realizada la cubierta polimérica en el electrospinning, el cual da como resultado el valor medio del esfuerzo de tracción de 0.98759 Mpa y con una desviación estándar de 0.38684, el módulo de elasticidad fue de 20.983 Mpa con una desviación estándar de 1.95749.

Como conclusiones podemos informar que la cubierta polimérica representa un resistencia mayor, cuando la tela es colocada en forma horizontal con un 0.1185 Mpa mayor frente a que si colocamos la tela en forma vertical.

Pero cabe resaltar que el módulo de elasticidad de la cubierta polimérica en forma vertical es mayor con un 4.434 Mpa, frente a cuando es en forma horizontal.

### **4.3.3 Caracterización mediante ángulo de contacto de las cubiertas poliméricas estableciendo sus propiedades para uso hospitalario.**

Un ángulo de contacto pequeño ( $< 90^\circ$ ) indica que la mojabilidad es muy alta, y el fluido se extenderá sobre la superficie; ángulos de contacto grandes ( $> 90^\circ$ ) significan que la mojabilidad es baja y el fluido disminuirá el contacto con la superficie, formando una gota compacta.

El ángulo de contacto es el ángulo que forma el líquido respecto a la superficie de contacto con el sólido, y está determinado por la resultante de las fuerzas adhesivas y cohesivas. Como la tendencia de una gota a expandirse en una superficie plana aumenta con la disminución del ángulo de contacto, este ángulo proporciona una medida de la inversa de la mojabilidad. Observando las figuras 29 y 30 de las imágenes que se le tomaron a las gotas de agua destilada cuando entraban en contacto con la cubierta polimérica, y analizando el ángulo de contacto, entre las tres fases donde se cruzan el líquido con el gas (aire) y la cubierta polimérica, observamos que la cubierta polimérica tiene propiedades hidrofílicas, por lo tanto es una cubierta con buena mojabilidad.



## 5. Conclusiones

Los tejidos tradicionales que vemos en los ambientes hospitalarios, no son los óptimos para la detener el crecimiento microbiano de las bacterias, es por esa necesidad que se sintetizan las cubiertas poliméricas nanotejidas, con el fin de reemplazar los tejidos tradicionales y detener las IAAS.

El tamaño de las nanofibras son especiales a nivel nano, con un diámetro promedio de 350 nm, ya que sería más fácil la impregnación de las nanopartículas, con el objetivo de que en trabajos posteriores se pueda reforzar con nanopartículas bactericidas y/o bacteriostáticas que eviten la contaminación de las superficies con los microorganismos del ambiente hospitalario nocivos para la salud.

En las propiedades mecánicas obtenidas de la cubierta polimérica se concluye que tiene mejor módulo de elasticidad, si se colocan en forma vertical de acuerdo al flujo, con 4.434 Mpa, frente a cuando es en forma horizontal.

La cubierta polimérica posee buen ángulo de contacto, por lo tanto tiene buenas propiedades hidrofílicas y una buena mojabilidad.

Es de anotar que está cubierta polimérica no será sometida a grandes esfuerzos, puesto que no va a ser una tela convencional de uno hospitalario, si no que su función principal es de ser una cubierta polimérica con propiedades bactericidas y/o bacteriostáticas, que sean capaces de detener el crecimiento microbiano en los ambientes hospitalarios.

## 6. Recomendaciones

Se recomienda bajo condiciones estrictas que cuando se vayan a sintetizar las cubiertas poliméricas en el electrospinning, manipular todos los ácidos con los implementos necesarios de seguridad, como son batas manga larga, guantes, gafas o en su defecto una careta.

Cuando se vaya a trabajar en el electrospinning tener en cuenta la temperatura y humedad relativa, tratando de controlar estas variables ambientales, que de cierta manera interfieren en el electrohilado.

Se recomienda que cuando se vaya hacer las pruebas de tracción, tener mucho cuidado de no dañar la muestra de la cubierta polimérica, puesto que está cubierta tiene bajo espesor, y esto hace que con poca fuerza se pueda dañar la muestra.

Está cubierta polimérica tiene como objetivo de que en trabajos posteriores se pueda reforzar con nanopartículas bactericidas y/o bacteriostáticas que eviten la contaminación de las superficies con los microorganismos del ambiente hospitalario nocivos para la salud.

## 7. Referencias

Acetic acid. (n.d.). Retrieved from <https://www.drugbank.ca/drugs/DB03166>

ACETIC ACID, GLACIAL | CAMEO Chemicals | NOAA. (n.d.). Retrieved November 28, 2017, from <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/2272>

Álvarez-Moreno, C. A., Valderrama-Beltrán, S. L., Rosenthal, V. D., Mojica-Carreño, B. E., Valderrama-Márquez, I. A., Matta-Cortés, L., ... Orellano, P. W. (2016). Multicenter study in Colombia: Impact of a multidimensional International Nosocomial Infection Control Consortium (INICC) approach on central line-associated bloodstream infection rates. *American Journal of Infection Control*, 44(11), e235–e241.

<https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.03.043>

ASTM. (2013). Standard D7490--13 Standard Test Method for Measurement of the Surface Tension of Solid Coatings, Substrates and Pigments using Contact Angle Measurements. *Astm*, 1–5. <https://doi.org/10.1520/D7490-13.2>

ASTM. (2015). Standard Terminology Relating to Fabrics and Fabric Test Methods 1. *Astm*, 13(Withdrawn 1994), 1–11. <https://doi.org/10.1520/D4850-13.2>

ASTM ASTM International. (n.d.). Retrieved November 29, 2017, from <https://webstore.ansi.org/SdoInfo.aspx?sdoId=41>

ASTM G-15, Standard Terminology Relating to Corrosion and Corrosion Testing, 2004. (2003). Capítulo 4. *Astm*, 03.02(Reapproved), 87–98. <https://doi.org/10.1520/G0059-97R09.2>

ASTM International. (2012). ASTM D882: Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. *ASTM Standards*, 12. <https://doi.org/10.1520/D0882-12.2>

Ayala Nuñez, N. (2010). Nanopartículas de Plata como microbicidas : Actividad mecanismos de

- acción contra la infección por el Virus de Inmunodeficiencia Humana ( VIH ) y diferentes bacterias resistentes a antibióticos. *Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas*, 1–134.
- Betancur Henao, C. P., Hernández Montes, V., & Buitrago Sierra, R. (2016). Nanopartículas para materiales antibacterianos y aplicaciones del dióxido de titanio. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 35(4), 366–381.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28(3), 325–347. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>
- Chemical Sampling Information | Acetic acid | Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). Retrieved November 28, 2017, from [https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH\\_216400.html](https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_216400.html)
- Ensayos mecánicos: Tipos y funciones | SCI. (n.d.). Retrieved November 28, 2017, from <http://scisa.es/ensayos-mecanicos-tipos/>
- España, B. N. de. (2010). Dialnet. Retrieved from <http://www.bne.es/es/Catalogos/Dialnet/>
- Fite, D. F. J. C. (n.d.). Escola D ' Enginyeria De Terrassa. *Materials Pel Disseny De Productes Tèxtils*, 1–24.
- Formic Acid. (n.d.). Retrieved from <https://www.drugbank.ca/drugs/DB01942>
- FORMIC ACID | CAMEO Chemicals | NOAA. (n.d.). Retrieved November 28, 2017, from <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3513>
- Francis, L., Giunco, F., Balakrishnan, A., & Marsano, E. (2010). Synthesis , characterization and mechanical properties of nylon – silver composite nanofibers prepared by electrospinning. *Current Applied Physics*, 10(4), 1005–1008. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.12.025>
- Francisco, U., & Santander, D. E. P. (2012). Universidad Francisco De Paula Santander

- Biblioteca Eduardo Cote Lamus. 200.93.148.28, 1–70. Retrieved from <http://200.93.148.28/drupal/files/D1dCBLxWr0Gnvid.pdf>  
full-text. (n.d.).
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. (2009). *Nanociencia y nanotecnología: Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro*. <https://doi.org/978-84-691-7266-7>
- González, F. J. (2008). Caracterización de Materiales. Microscopía electrónica de barrido (SEM), 1–18.
- ICONTEC. (1996). Ntc 3911.
- Infobiblio. Información Bibliográfica: Scopus y Science Direct. Qué utilizar. (n.d.). Retrieved April 3, 2018, from <http://infobib.blogspot.com.co/2010/01/scopus-y-science-direct-que-utilizar.html>
- Investigadores, T. De. (2011). 001 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos. Retrieved from <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion.html>
- Joshi, M. (2011). Nanotechnology: A New Route to High Performance Textiles. *Textile Progress*, 43(3), 272– 293. <https://doi.org/10.1080/00405167.2011.570027>
- Klevens, R. M., Edwards, J. R., Richards, C. L., Horan, T. C., Gaynes, R. P., Pollock, D. A., & Cardo, D. M. (2007). Estimating health care-associated infections and deaths in U.S. hospitals, 2002. *Public Health Reports (Washington, D.C. : 1974)*, 122(2), 160–6. <https://doi.org/10.1177/003335490712200205>
- Król, A., Pomastowski, P., Rafińska, K., Railean-Plugaru, V., & Buszewski, B. (2017). Zinc oxide nanoparticles: Synthesis, antiseptic activity and toxicity mechanism. *Advances in*

*Colloid and Interface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.07.033>

La, I. D. E., Preparado, S. O., & Empresa, Y. D. E. L. A. (n.d.). ÁCIDO ACÉTICO, 1–6.

LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL | noemagico. (n.d.). Retrieved November 29, 2017,

from <https://noemagico.blogia.com/2006/092201-la-investigaci-n-experimental.php>

Lappas, C. M. (2015). The immunomodulatory effects of titanium dioxide and silver

nanoparticles. *Food and Chemical Toxicology*, *85*, 78–83.

<https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.05.015>

Lawrence. (2008). Ensayo De Traccion, 1–25.

Li, Y. (2006). *POLYMER*, *42*, 1696–1704. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.02.002>

Magiorakos, A. P., Srinivasan, A., Carey, R. B., Carmeli, Y., Falagas, M. E., Giske, C. G., ...

Monnet, D. L. (2012). Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant

bacteria: An international expert proposal for interim standard definitions for acquired

resistance. *Clinical Microbiology and Infection*, *18*(3), 268–281.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03570.x>

Mejía, M. L., Zapata, J., Cuesta, D. P., Ortiz, I. C., Botero, L. E., Galeano, B. J., ... Hoyos, L. M.

(2017). Properties of Antibacterial Nano Textile for Use in Hospital Environments, 13–19.

Modelo SciELO : Sobre el SciELO : SciELO - Scientific Electronic Library Online. (n.d.).

Retrieved April 3, 2018, from

<http://www.scielo.org/php/level.php?lang=es&component=44&item=1>

Molnár, K., & Farkas, B. (2015). Electrospun Nanofibers for Textile Application - a Finite

Element Study. *COMSOL Conference*. Retrieved from <http://real.mtak.hu/31999/1/ITMC>

2015 MK.pdf

Morales, J., Morán, J., Quintana, M., & Estrada, W. (2009). SÍNTESIS Y

CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA POR LA RUTA Sol-Gel A PARTIR DE NITRATO DE PLATA SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF SILVER NANOPARTICLES BY Sol-Gel ROUTE FROM SILVER NITRATE. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 75(2), 177–184.

Motacki, K., Kapoian, T., & O'Mara, N. B. (2011). *An illustrated guide to infection control*. Springer Pub.

Neely, A. N., & Maley, M. P. (2000). Survival of Enterococci and Sthaphylococci on Hospital Fabrics and Plastics. *Journal of Clinical Microbiology*, 38(2), 724–726.  
<https://doi.org/http://jcm.asm.org/>

Nirmala, R., Nam, K. T., Park, S. J., Shin, Y. S., Navamathavan, R., & Kim, H. Y. (2010). Formation of high aspect ratio polyamide-6 nanofibers via electrically induced double layer during electrospinning. *Applied Surface Science*, 256(21), 6318–6323.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.04.010>

OMS | Carga mundial de infecciones asociadas a la atención sanitaria. (2013). *WHO*. Retrieved from [http://www.who.int/gpsc/country\\_work/burden\\_hcai/es/](http://www.who.int/gpsc/country_work/burden_hcai/es/)

Organización Mundial de la Salud. (2002). Prevención de las infecciones nosocomiales. *Guia Practica*, 2, 70. <https://doi.org/10.1590/S0036-36341999000700012>

Pelgrift, R. Y., & Friedman, A. J. (2013). Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 65(13-14), 1803–1815.  
<https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.07.011>

Perelshtein, I., Lipovsky, A., Perkash, N., Tzanov, T., Arguirova, M., Leseva, M., & Gedanken, A. (2015). Making the hospital a safer place by sonochemical coating of all its textiles with antibacterial nanoparticles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25(1), 82–88.

<https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.12.012>

Perelshtein, I., Ruderman, Y., Perkas, N., Beddow, J., Singh, G., Vinatoru, M., ... Gedanken, A. (2013). The sonochemical coating of cotton withstands 65 washing cycles at hospital washing standards and retains its antibacterial properties. *Cellulose*, 20(3), 1215–1221. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9929-z>

Poliamida - Nylon. (n.d.). Retrieved November 28, 2017, from

<http://www.ensinger.es/es/materiales/plasticos-de-ingenieria/poliamida/>

Prasad, M., Taek, K., Seo, Y. A., Raj, D., & Yong, H. (2011). Diario de materiales peligrosos lectrospun nylon-6-araña red como nano fi bra estera que contiene TiO 2 nanopartículas : Un material anocompuesto textil multifuncional, 185, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.006>

Raj, H., Prasad, M., Yi, C., Nirmala, R., Taek, K., Baek, W., & Yong, H. (2010). Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects Effect of successive electrospinning and the strength of hydrogen bond on the morphology of electrospun nylon-6 nanofibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 370(1-3), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.08.051>

Redalyc. (n.d.). Retrieved April 3, 2018, from

<http://biblioteca.iberoamericana.edu.co/index.php/e-recursos/revistas-electronicas/redalyc>

Rodríguez, Á. (2010). Estudio del ángulo de contacto y de la mojabilidad a alta temperatura de fases líquidas en la sinterización de metales, 114. Retrieved from [http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10046/PFC\\_Alvaro\\_Rodriguez\\_Garcia-Cebadera.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10046/PFC_Alvaro_Rodriguez_Garcia-Cebadera.pdf?sequence=1)

Salem, W., Leitner, D. R., Zingl, F. G., Schratte, G., Prassl, R., Goessler, W., ... Schild, S.



- (2015). Antibacterial activity of silver and zinc nanoparticles against *Vibrio cholerae* and enterotoxic *Escherichia coli*. *International Journal of Medical Microbiology*, 305(1), 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2014.11.005>
- Silberstein, M. N., Pai, C., Rutledge, G. C., & Boyce, M. C. (2012). Diario de la mecánica y Física de los sólidos comportamiento elástico-plástico de esteras fibrosas no tejidas fi, 60, 295–318. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2011.10.007>
- Som, C., Wick, P., Krug, H., & Nowack, B. (2011). Environmental and health effects of nanomaterials in nanotextiles and façade coatings. *Environment International*, 37(6), 1131–1142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.02.013>
- Street, T., & States, U. (n.d.). *Vigilancia epidemiológica de las infecciones asociadas a la atención de la salud*.
- Tesaurus NCI. (n.d.). Retrieved November 28, 2017, from [https://ncit.nci.nih.gov/ncitbrowser/ConceptReport.jsp?dictionary=NCI\\_Thesaurus&ns=NCI\\_Thesaurus&code=C61623](https://ncit.nci.nih.gov/ncitbrowser/ConceptReport.jsp?dictionary=NCI_Thesaurus&ns=NCI_Thesaurus&code=C61623)
- United States of America. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) - Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. (2003). Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities. *U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention (CDC) Atlanta, GA 30329*, (2003), 240. Retrieved from <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/environmental-guidelines.pdf>
- Uribe, G. M., & López, J. L. R. (2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Revista Perfiles Latinoamericanos*, 14(29), 161–186. Retrieved from <http://perfilesla.flacso.edu.mx/index.php/perfilesla/article/view/209>

WHO | The burden of health care-associated infection worldwide. (2013). *WHO*. Retrieved from [http://www.who.int/gpsc/country\\_work/burden\\_hcai/en/](http://www.who.int/gpsc/country_work/burden_hcai/en/)

World Health Organization. (2011). The Burden of Health Care-Associated Infection Worldwide: A Summary. *World Health Organization*, 3. Retrieved from [http://www.who.int/gpsc/country\\_work/summary\\_20100430\\_en.pdf](http://www.who.int/gpsc/country_work/summary_20100430_en.pdf)

Yeum Jeong Hyun, Park Jae Hyeung, & Choi Jae Young. (2006). Polymer / montmorillonite / silver prepared by in-situ polymerization and electrospraying technique. *Intech*, 165–187.

## 8. ANEXOS

### *Anexo A Resultados de las Pruebas de Tracción- Nylon Horizontal*

	Modulus of Elasticity (MPa)	Esfuerzo de tracción Yield (Offset 0.2 %) (MPa)	Yield Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)
1	14.462	1.36952	10.825	1.509
2	19.773	1.66399	8.886	2.287
3	16.168	1.05600	7.162	1.336
4	19.557	1.15483	6.027	2.432
5	12.785	0.28612	2.441	0.895
Media	16.549	1.10609	7.068	1.692
Desviación estándar	3.08702	0.51427	3.15893	0.65150
Mínimo	12.785	0.28612	2.441	0.895
Máximo	19.773	1.66399	10.825	2.432
Escala	6.989	1.37787	8.383	1.538

	Break Elongation (%)	Secant Modulus (MPa)	Specimen Info	Test Info
1	15.833	13.412	Undefined	Undefined
2	13.250	17.941	Undefined	Undefined
3	12.833	11.179	Undefined	Undefined
4	15.583	21.408	Undefined	Undefined
5	15.000	13.010	Undefined	Undefined
Media	14.500	15.390		
Desviación estándar	1.37322	4.18445		
Mínimo	12.833	11.179		
Máximo	15.833	21.408		
Escala	3.000	10.229		

	Humedad	Temperatura
1	56	25.0
2	56	25.0
3	56	25.0
4	56	25.0
5	56	25.0
Media		
Desviación estándar		
Mínimo		
Máximo		
Escala		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo B Resultados de las Pruebas de Tracción- Nylon Vertical**

	Modulus of Elasticity (MPa)	Esfuerzo de tracción Yield (Offset 0.2 %) (MPa)	Yield Elongation (%)	Tensile Strength (MPa)
1	22.869	0.70523	3.162	1.188
2	17.968	0.73133	4.323	0.816
3	22.348	1.54242	7.291	2.192
4	21.494	1.24895	6.456	1.495
5	20.237	0.71004	3.890	1.192
Media	20.983	0.98759	5.024	1.377
Desviación estándar	1.95749	0.38684	1.76279	0.51542
Mínimo	17.968	0.70523	3.162	0.816
Máximo	22.869	1.54242	7.291	2.192
Escala	4.900	0.83718	4.128	1.376

	Break Elongation (%)	Secant Modulus (MPa)	Specimen Info	Test Info
1	55.934	24.907	Undefined	Undefined
2	5.166	17.264	Undefined	Undefined
3	11.571	19.768	Undefined	Undefined
4	8.750	15.602	Undefined	Undefined
5	8.750	17.089	Undefined	Undefined
Media	18.034	18.926		
Desviación estándar	21.30825	3.66320		
Mínimo	5.166	15.602		
Máximo	55.934	24.907		
Escala	50.768	9.306		

	Humedad	Temperatura
1	58	24.7
2	58	24.7
3	58	24.7
4	58	24.7
5	58	24.7
Media		
Desviación estándar		
Mínimo		
Máximo		
Escala		

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo C Resultados de los ángulos de contacto**

Theta(L)	Theta(M)	Theta(R)	
115.3	114.5	113.6	4799
113.7	112.1	110.5	5271
106.7	105.0	103.2	5755
99.5	97.8	96.1	6238
93.7	92.0	90.3	6710
89.0	86.8	84.6	7193
84.2	81.9	79.6	7676
79.8	77.3	74.9	8149
76.0	74.0	72.0	8632
73.4	71.8	70.2	9115
72.9	71.2	69.6	9588
69.0	68.3	67.5	10071
68.9	68.0	67.2	10554
67.2	66.7	66.2	11026
66.3	66.0	65.8	11510
64.9	65.0	65.1	11993
64.5	64.6	64.8	12465
64.0	64.2	64.5	12948
63.8	64.1	64.3	13432
63.5	63.8	64.0	13904
63.4	63.7	63.9	14387
63.4	63.6	63.8	14870
63.2	63.3	63.5	15353
62.7	63.0	63.3	15826
62.6	62.9	63.1	16309
62.5	62.8	63.1	16792
62.2	62.5	62.7	17265
62.1	62.3	62.6	17748
62.3	62.4	62.6	18231
62.2	62.3	62.4	18703
62.1	62.2	62.3	19187
61.9	62.0	62.2	19670
61.8	62.0	62.2	20142
61.6	61.9	62.1	20625
61.5	61.8	62.0	21109
61.4	61.6	61.9	21581
61.3	61.5	61.7	22064
61.2	61.3	61.5	22547
61.2	61.3	61.4	23020

61.1	61.2	61.3	23503
60.9	61.1	61.3	23986
60.8	61.0	61.1	24469
60.7	60.8	60.9	24942
60.5	60.8	61.0	25425
60.5	60.7	60.9	25908
60.5	60.7	60.9	26380
60.4	60.6	60.8	26864
60.2	60.5	60.7	27347

**Fuente:** Elaboración propia.

*Anexo D Propiedades Físicas del ácido acético.*

**Formula química:**  $C_2H_4O_2$

**Punto de inflamación:** 104 ° F (NTP, 1992)

**Límite explosivo inferior (LEL):** 5.4% (NTP, 1992)

**Límite explosivo superior (UEL):** 16% (NTP, 1992)

**Temperatura de autoignición:** 961 ° F (USCG, 1999)

**Punto de fusión:** 61.9 ° F (NTP, 1992)

**Presión de vapor:** 11.4 mm Hg a 68 ° F; 20 mm Hg a 86 ° F (NTP, 1992). (“Acetic acid,” n.d.).

***Anexo E Propiedades Físicas del ácido fórmico:*****Fórmula química:** CH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>**Punto de inflamación:** 156 ° F (NTP, 1992)**Límite explosivo inferior (LEL):** 18% (solución al 90%) (NTP, 1992)**Límite explosivo superior (UEL):** 57% (solución al 90%) (NTP, 1992)**Temperatura de autoignición:** 1114 ° F (USCG, 1999)**Punto de fusión:** 47.1 ° F (NTP, 1992)**Presión de vapor:** 35 mm Hg a 68 ° F; 200 mm Hg a 142.5 ° F (NTP, 1992)**Densidad de vapor (Relativa al aire):** 1.6 (NTP, 1992)**Gravedad Específica:** 1.22 a 68 ° F (USCG, 1999)**Punto de ebullición:** 213.3 ° F a 760 mm Hg (NTP, 1992)**Peso molecular:** 46.02 (NTP, 1992)**Solubilidad en agua:** mayor o igual a 100 mg / mL a 70 ° F (NTP, 1992)**Potencial de ionización:** 11.05 eV (NIOSH, 2016)**IDLH:** 30 ppm. (“FORMIC ACID | CAMEO Chemicals | NOAA,” n.d.).

*Anexo F Presupuesto del costo de los Ensayos de tracción y ángulo de contacto.*



Medellín, febrero 07 de 2018

Señor(es):  
Nelson Escobar  
Universidad Pontificia Bolivariana

**ASUNTO:** Propuesta Técnico- Económica GINUMA-SE-P010-18

Cordial Saludo,

De acuerdo a su solicitud, se envía la propuesta técnico-económica GINUMA-SE-P010-18 para la realización de ensayos de caracterización de materiales que se describen en la siguiente tabla:

Método de ensayo	Valor por ensayo	Cantidad de ensayos	Valor total
Ensayo de Tracción. ASTM D882 "Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting"	\$36.000	15	\$ 540.000
Determinación de ángulo de contacto. ASTM D7490 "Standard Test Method for Measurement of the Surface Tension of Solid Coatings, Substrates and Pigments using Contact Angle Measurements"	\$54.500	10	\$545.000

El valor total para los ensayos solicitados es de \$ 1.085.000 (un millón ochenta y cinco mil pesos). Por disposiciones tributarias la universidad está exenta del cobro de IVA. El valor total de los ensayos tiene un descuento del 50% ya incluido.

El tiempo estimado para los ensayos es de cinco (5) días hábiles y se inicia una vez se reciba el visto bueno por escrito (orden de servicios) por parte de ustedes y se tengan las muestras, previamente identificadas por el cliente, en el laboratorio.

Validez de esta oferta: 30 días. Se hará entrega del informe de resultados, el cual no incluye el análisis de los mismos.

Esperamos que esta propuesta se ajuste a sus necesidades y estaremos atentos a resolver cualquier inquietud al respecto. Favor ponerse en contacto con el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis y caracterización de Materiales del GINUMA: teléfono 4488388 opción 1 Ext. 12851.

Solicitamos que la entrega de muestras y comunicaciones en físico que requiera enviarnos, sea remitida a la siguiente dirección: Circular 1ª No. 70-01, bloque 8 Laboratorio de materiales, Laureles, UPB – Correo electrónico: [laboratorio.materiales@upb.edu.co](mailto:laboratorio.materiales@upb.edu.co)

Atentamente,

*Emigdio Mendoza*  
Emigdio Mendoza Fandiño.

Coordinador  
Unidad de Servicios de Análisis y Caracterización de Materiales del GINUMA  
Universidad Pontificia Bolivariana



*Anexo G Tablas de presupuesto*

Tabla 11. Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$).

RUBRO	UFPSO	CONTRAPARTIDA (Universidad Pontifica bolivariana)		TOTAL
	Efectivo	Efectivo	Especie	
EQUIPOS - HERRAMIENTAS LICENCIAS DE SOFTWARE			2.500.000	2.500.000
REACTIVOS Y MATERIAL DE LABORATORIO			1.450.000	1.450.000
MATERIALES E INSUMOS PAPELERÍA Y ÚTILES DE ESCRITORIO			370.000	370.000
SALIDAS DE CAMPO SERVICIOS TÉCNICOS			2.300.000	2.300.000
DOCUMENTACIÓN Y BIBLIOGRAFÍA			900.000	900.000
ANÁLISIS Y PRUEBAS DE LABORATORIO				
GASTOS DE VIAJE	3.740.000			3.740.000
INSCRIPCIÓN A PONENCIAS	2.000.000			2.000.000
IMPREVISTOS (Pagos para )	1.000.000			1.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>6.740.000</b>		<b>7.920.000</b>	<b>14.260.000</b>

**Nota.** Elaboración propia

Tabla 12. Descripción de los equipos que se planea adquirir (en miles de \$).

EQUIPO - HERRAMIENTAS	JUSTIFICACIÓN	UFPSO (Efectivo)	RECURSOS CONTRAPARTIDA		TOTAL
			Efectivo	Especie	
Electrospining	Equipo que realiza la síntesis de los polímeros nano reforzados.			2.500.000	2.500.000
<b>TOTAL</b>				<b>2.500.000</b>	<b>2.500.000</b>

**Nota.** Elaboración propia.

Tabla 13. Reactivos y Material de Laboratorio (en miles de \$)

REACTIVOS Y MATERIAL LABORATORIO	JUSTIFICACIÓN	UFPSO (Efectivo)	RECURSOS CONTRAPARTIDA		TOTAL
			Efectivo	Especie	
Poliamida 6	Polimero a reforzar			600.000	600.000
Nanoparticulas Ag	Nanorefuerto			300.000	300.000
Nanoparticulas TiO <sub>2</sub>	Nanorefuerto			250.000	250.000
Nanoparticulas ZnO	Nanorefuerto			300.000	300.000
<b>TOTAL</b>				<b>1.450.000</b>	<b>1.450.000</b>

**Nota.** Elaboración propia.

Tabla 14. Insumos (en miles de \$)

INSUMOS	JUSTIFICACIÓN	UFPSO (Efectivo)	RECURSOS CONTRAPARTIDA		TOTAL
			Efectivo	Especie	
Guantes	Protección			70.000	70.000
Gafas	Protección			50.000	50.000
Solventes	Protección			150.000	150.000
Polimeros					
Consumibles varios	varios			100.000	100.000
<b>TOTAL</b>				<b>370.000</b>	<b>370.000</b>

**Nota.** Elaboración propia.

Tabla 15. Servicios Técnicos (en miles de \$)

Tipo de servicio	JUSTIFICACIÓN	UFPSO (Efectivo)	RECURSOS CONTRAPARTIDA		TOTAL
			Efectivo	Especie	
Microscopia SEM	Caracterización morfológica			1.000.000	1.000.000
Angulo de contacto	Caracterización física			500.000	500.000
Maquina universal de Ensayos	Pruebas de tensión			800.000	800.000
<b>TOTAL</b>				<b>2.300.000</b>	<b>2.300.000</b>

**Nota.** Elaboración propia.

Tabla 16. Documentación y Bibliografía (en miles de \$)

<b>Documentación y Bibliografía</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>UFPSO (Efectivo)</b>	<b>RECURSOS CONTRAPARTIDA</b>		<b>TOTAL</b>
			Efectivo	Especie	
Sciencedirect	Búsqueda del estado del arte			600.000	600.000
Scopus	Búsqueda del estado del arte			300.000	300.000
<b>TOTAL</b>				<b>900.000</b>	<b>900.000</b>

**Nota.** Elaboración propia.