



## **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

### **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA TEXTIL**

#### **TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA TEXTIL**

##### **TEMA:**

#### **EVOLUCIÓN DE LOS TEXTILES ULTRA INTELIGENTES O DE TERCERA GENERACIÓN**

**AUTORA: LISSETH CAROLINA PAMBAQUISHPE ÁLVAREZ**

**DIRECTOR: ING. EDWIN ROSERO**

**IBARRA-ECUADOR**

**2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100348252-6		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	PAMBAQUISHPE ÁLVAREZ LISSETH CAROLINA		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Ibarra-Angochagua- Zuleta		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:pamcoralina@gmail.com">pamcoralina@gmail.com</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2 662 021	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0967016569

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	EVOLUCIÓN DE LOS TEXTILES ULTRA INTELIGENTES O DE TERCERA GENERACIÓN
<b>AUTOR (ES):</b>	Liseth Carolina Pambaquishpe Álvarez
<b>FECHA:</b>	13 / 10 / 2017
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería textil
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Edwin Rosero

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

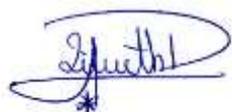
Yo, Lisseth Carolina Pambaquishpe Álvarez, con cédula de identidad Nro. 100348252-6, en calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

La autora manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

En la ciudad de Ibarra, Enero de 2017

LA AUTORA:



.....  
Lisseth Carolina Pambaquishpe Álvarez

C.C: 1003482526



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Lisseth Carolina Pambaquishpe Álvarez, con cédula de identidad Nro. 100348252-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“EVOLUCIÓN DE LOS TEXTILES ULTRA INTELIGENTES O DE TERCERA GENERACIÓN”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA TEXTIL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 13 enero de 2017

LA AUTORA:

.....  
Lisseth Carolina Pambaquishpe Álvarez

C.C: 1003482526



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**DECLARACIÓN**

Yo, Lisseth Carolina Pambaquishpe Álvarez, con cédula de identidad Nro. 100348252-6, declaro bajo juramento que el trabajo de grado con el tema “EVOLUCIÓN DE LOS TEXTILES ULTRA INTELIGENTES O DE TERCERA GENERACIÓN”, corresponde a mi autoría y que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Además a través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Ibarra, 13 enero de 2017

LA AUTORA:

.....  
Lisseth Carolina Pambaquishpe Álvarez

C.C: 1003482526



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN DEL ASESOR**

En mi calidad de Director de Trabajo de Grado presentado por la egresada LISSETH CAROLINA PAMBAQUISHPE ÁLVAREZ, para optar el título de INGENIERA TEXTIL, cuyo tema es “EVOLUCIÓN DE LOS TEXTILES ULTRA INTELIGENTES O DE TERCERA GENERACIÓN”, considero que el presente trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, 13 enero de 2017

.....  
ING. EDWIN ROSERO

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de grado está dedicado a Dios y a la virgen del Quinche, por ser mis guías en mi vida estudiantil, enseñándome siempre a perseverar para alcanzar mis objetivos.*

*A mi abuelita Sofía, ejemplo de fortaleza, quien me enseñó la humildad, bondad, caridad y sobre todo con amor me enseñó a ser una persona de bien y responsable.*

*A mis padres Sofía Álvarez y Daniel Pambaquishpe, por su paciencia, apoyo, consejos y comprensión, que siempre me supieron animar en los momentos difíciles y me enseñaron a no rendirme y a superar los obstáculos.*

*A toda mi familia y amigos, que siempre me estuvieron animando y apoyando para culminar esta etapa importante de mi vida.*

Liseth Carolina Pambaquishpe



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida y la fuerza para culminar esta etapa de mi vida universitaria y alcanzar uno de mis mayores objetivos.

A mi abuelita, que desde el cielo siempre me está bendiciendo y ayudándome a alcanzar mis metas.

A mis padres por ser mi apoyo incondicional, por sus consejos, y sus sacrificios realizados por ver culminada esta etapa de mi vida.

A mis amigos y familia quienes siempre me brindaron su apoyo y animaron para cumplir mis objetivos y metas.

Al Ing. Edwin Rosero, mi director de trabajo de grado, quien supo ser mi guía y apoyo durante desde el inicio hasta el final del desarrollo de esta investigación, y quien me enseñó a creer y generar confianza en uno mismo.

Agradezco a la universidad técnica del norte, en especial a la Escuela de Ingeniería Textil, que con sus profesores y dirigentes, supieron colaborar en mi educación y formación profesional y humana.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	I
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	III
DECLARACIÓN .....	IV
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	XI
RESUMEN.....	XII
SUMMARY .....	XIII
PARTE TEORICA .....	1
CAPITULO I.....	1
1. MATERIALES Y PROCESOS TEXTILES .....	1
1.1. Las fibras textiles .....	1
1.1.1. Introducción .....	1
1.1.2. ¿Qué es una fibra textil?.....	1
1.1.3. Clasificación de las fibras textiles .....	1
1.2. Procesos textiles.....	3
1.2.1. La industria textil.....	3
1.2.2. Proceso de Hilatura.....	4
1.2.10. Acabados.....	11
1.3. Procesos de Tejido.....	12
1.3.1. Introducción .....	12
1.3.2. No tejidos .....	12
1.3.3. Los tejidos.....	13
1.3.3.1. Tejeduría por calada.....	13
1.3.3.2. Tricotado o tejido de punto .....	16
1.4. Procesos de Tintorería .....	19
1.4.1. El teñido .....	20
1.4.2. Procesos de tintura.....	21

1.5. Proceso de acabado .....	22
1.5.1. Acabados mecánicos. ....	22
1.5.2. Acabados químicos.....	23
<b>CAPITULO II</b> .....	25
<b>2. TEXTILES INTELIGENTES</b> .....	25
2.1. Introducción .....	25
2.2. Definición .....	26
2.3. Clasificación.....	27
2.4. Importancia .....	28
<b>CAPITULO III</b> .....	31
<b>TEXTILES INTELIGENTES DE SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN</b> .....	31
3.1. Materiales textiles inteligentes activos o de segunda generación.....	31
3.1.1. Introducción .....	31
3.1.2. Aplicaciones y usos.....	32
3.2. Materiales textiles ultra inteligentes o de tercera generación .....	36
3.2.1. Introducción .....	36
3.2.2. Para sistema de transmisión de señal, de procesamiento y de controles.....	37
3.2.3. Para productos y procesos integrados.....	37
<b>PARTE PRÁCTICA</b> .....	39
<b>CAPITULO IV</b> .....	39
<b>4. ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES TEXTILES ULTRA INTELIGENTES</b> .....	39
4.1. Introducción .....	39
4.2. Principios de los textiles ultra inteligentes .....	40
4.2.1. Materiales Textiles Inteligentes .....	41
4.2.2. Sensores.....	61
4.2.3. Actuadores .....	75
4.2.4. Componentes de Comunicación.....	79
4.2.5. Componentes de Energía suplementaria .....	82
4.2.6. Componentes de Procesamiento de datos .....	84
4.2.7. Interconexiones.....	85
4.3. Evolución y aplicación de los materiales textiles ultra inteligentes .....	86
4.3.1. Materiales textiles ultra inteligentes en prendas deportivas .....	86
4.3.2. Materiales textiles ultra inteligentes para prendas de defensa. ....	88
4.3.3. Materiales inteligentes en aplicaciones médicas.....	90
4.4. Evolución de los textiles ultra inteligentes en el tiempo.....	92

<b>CONCLUSIONES</b> .....	98
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	101
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	102

### **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1:</b> Propiedades eléctricas de los monofilamentos.....	47
<b>Tabla 2:</b> Nano materiales y sus propiedades en los nano-textiles.....	58
<b>Tabla 3:</b> Aplicación de materiales textiles inteligentes en prendas deportivas.....	86
<b>Tabla 4:</b> Aplicación de materiales textiles inteligentes de defensa .....	88
<b>Tabla 5:</b> Aplicación de materiales textiles inteligentes médicos .....	90
<b>Tabla 6:</b> Aplicación de materiales textiles inteligentes .....	93

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1:</b> Proceso de hilado .....	4
<b>Figura 2:</b> Diagrama de los principio de cardado.....	8
<b>Figura 3:</b> Gráfico del principio de doblado .....	9
<b>Figura 4:</b> Gráfico de urdido y engomado.....	14
<b>Figura 5:</b> Gráfico de apertura por calada y la inserción de trama en un telar de lanzadera....	15
<b>Figura 6:</b> Gráfico de batanado de la trama .....	16
<b>Figura 7:</b> Gráfico de tricotosa circular.....	17
<b>Figura 8:</b> Gráfico de secuencia de trabajo de la aguja de lengüeta: .....	18
<b>Figura 9:</b> Gráfico de máquina tricotosa por urdimbre .....	18
<b>Figura 10:</b> Gráfico de un organismo celular como ejemplo de estructura inteligente.....	26
<b>Figura 11:</b> Diseños con impresión digital.....	33
<b>Figura 12:</b> Efecto de cambio de forma .....	33
<b>Figura 13:</b> Funcionamiento de la tecnología Outlats.....	34
<b>Figura 14:</b> Funcionamiento de la tecnología c_changeTM .....	35
<b>Figura 15:</b> Tecnología NanoSphere®.....	36
<b>Figura 16:</b> Fibras de kevlar con revestimiento de materiales conductores.....	43
<b>Figura 17:</b> Estructura de una fibra electro-activa. ....	44
<b>Figura 18:</b> Tetro-Yarns® hilos conductores.....	45
<b>Figura 19:</b> Monofilamento metálico .....	47
<b>Figura 20:</b> Fibra de paso de índice.....	50

<b>Figura 21:</b> Propagación de la luz en la fibra de paso de índice. ....	50
<b>Figura 22:</b> Estructuras de diferentes fibras ópticas.....	53
<b>Figura 23:</b> Reacción química CIPS .....	60
<b>Figura 24:</b> Diagramas esquemáticos de un sensor.....	65
<b>Figura 25:</b> Muestra material impreso.....	66
<b>Figura 26:</b> configuraciones de diferentes sensores en el pecho, muñeca y cuello.....	66
<b>Figura 27:</b> Orientación aleatoria de los dominios polares de un sensor textil inteligente. ....	68
<b>Figura 28:</b> Principio de operación de un sensor óptico. ....	69
<b>Figura 29:</b> Tejido fabricados con sensores de fibras ópticas. ....	72
<b>Figura 30:</b> Sensores en colocados en el cinturón de seguridad con el sujeto de prueba. ....	74
<b>Figura 31:</b> Gel a base de poli electrolito con suministro de droga en un suéter.....	79
<b>Figura 32:</b> Líneas de transmisión basada en textiles. ....	81
<b>Figura 33:</b> Diseño Infineon.....	83

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

<b>Ilustración 1:</b> Clasificación de las fibras textiles.....	3
<b>Ilustración 2:</b> Gráfico de diagrama sobre procesos generales de hilandería .....	5
<b>Ilustración 3:</b> Cuadro de los principios de cardado .....	9
<b>Ilustración 4:</b> Factores para tintorería .....	19
<b>Ilustración 5:</b> Clasificación de los textiles inteligentes .....	27
<b>Ilustración 6:</b> Características principales de los textiles inteligentes de tercera generación. .	41
<b>Ilustración 7:</b> Tipos de fibras ópticas .....	48
<b>Ilustración 8:</b> mecanismos de sensores dentro de los textiles inteligentes de tercera generación. ....	62
<b>Ilustración 9:</b> tipos de sensores aplicados en los textiles de tercera generación. ....	64
<b>Ilustración 10:</b> tipo de actuadores usados en los textiles ultra inteligentes.....	75
<b>Ilustración 11:</b> características de posición de un sistema de comunicación.....	80
<b>Ilustración 12:</b> Evolución de los materiales textiles muy inteligentes .....	98

## RESUMEN

El concepto de textiles ha ido evolucionando con el pasar de los tiempos, y actualmente busca que el material textil y sus productos, sean valorados por sus propiedades técnicas y su rendimiento en lugar de buscar solo las características estéticas o decorativas de un textil, presentando al mercado actual productos textiles que combinan tanto el rendimiento y sus funcionalidades con las propiedades estéticas en igual medida. De esta manera se han generado nuevas áreas de investigación en el área textil, en todos sus procesos en especial en el área de acabados inteligentes textiles conocidos como “Smart textiles”.

Por esta razón el presente trabajo de grado se ha desarrollado con la finalidad de influenciar en el área de investigación en la tecnología textiles de tercera generación, permitiendo dar a conocer los conceptos y principios fundamentales con los cuales en la actualidad se enfoca la tecnología textil y su evolución desde su reconocimiento en el mercado. Además de crear conciencia de su importancia, su estudio y aplicación en los estudiantes y de más profesionales relacionados con el campo textil.

El presente trabajo de grado se compone de cuatro capítulos descritos a continuación.

En el capítulo I se ha realizado una breve contextualización de los procesos textiles que en la actualidad utiliza la mayoría de las empresas en el Ecuador, desde el hilado, tejido, tintorería y acabados.

En el capítulo II se empieza con el análisis de los textiles inteligentes en general, determinando su definición, clasificación, y su importancia en la actualidad de su estudio.

En el capítulo III se realizó un análisis de los textiles inteligentes de segunda y tercera generación, determinando sus conceptos, los materiales textiles y sus aplicaciones en productos finales.

En el capítulo IV se enfocó la investigación en la determinación de la evolución de los textiles inteligentes, para lo cual se realizó un análisis exhaustivo basado en literatura científica especializada, determinando sus principios, principales aplicaciones, tecnología y los campos de ciencia relacionados.

## SUMMARY

The concept of textiles has evolved with the time, actually it is seeking that textile material and products are valued by their technical properties and better output rather than only aesthetic or decorative textile features, presenting the current textile market products which combine both output and functionality with aesthetic properties in the same measure. In this way, new areas of investigation in textile have been generated in all of their processes and especially in the area of smart textiles finishes known as “smart textiles”. For this reason, this degree work has been developed in order to influence in the research area of third-generation textile technology, allowing to introduce the main concepts and principles, where textile technology and its evolution are focused nowadays since its recognition in the market, besides to create awareness of its importance, study and application by the students and other textile professionals. This degree work has four chapters, Chapter I has a brief contextualization of the textile processes that actually most of the companies in Ecuador use, since the yarn, woven, dry cleaning and finishes. Chapter II contains the analysis of intelligent textiles in general, determining its definition, classification, and the importance of its study. Chapter III is about the analysis of the smart textiles of second and third generation, determining the concepts, textile materials and their application in finished products and finally Chapter IV was focused on the evolution of intelligent textile, for that an exhaustive analysis was made based on scientific and specialized literature, determining its principles, main applications, technology and other related science fields.

## **PARTE TEORICA**

### **CAPITULO I**

#### **1. MATERIALES Y PROCESOS TEXTILES**

##### **1.1. Las fibras textiles**

###### **1.1.1. Introducción**

La fibra textil es la principal materia prima para la elaboración de los diferentes productos textiles como hilos, telas, ropa, entre otros. Existiendo una gran variedad de fibras textiles en el mercado, tanto naturales como sintéticas.

###### **1.1.2. ¿Qué es una fibra textil?**

Podemos definir a las fibras textiles como “Fibras son materiales flexibles, con una relación de aspecto grande (tasa de longitud a diámetro) y de alta resistencia extensible” (The Textile Institute, 2012, pág. 221), es decir que son materiales flexibles que poseen una relación de longitud y diámetro con alta fuerza extensible, resistencia y elasticidad.

Una fibra textil posee diversas características las cuales están determinadas por su naturaleza de origen. Siendo importante conocer su composición y morfología, ya que ello determinara las características y funcionalidades que puede brindar el producto textil final. Es así, que una fibra textil se encuentra compuesta por largas cadenas moleculares poliméricas (Lockuán F. , 2013), siendo esta la característica principal que permite diferenciarse las fibras unas de otras, ya que cada una posee su propia estructura molecular.

###### **1.1.3. Clasificación de las fibras textiles**

Las fibras textiles pueden tener varias clasificaciones de acuerdo a sus características físicas o químicas. A continuación se presentan dos clasificaciones: por su longitud y por su naturaleza.

### **1.1.3.1. Clasificación por su longitud.**

Dentro de las fibras textiles se puede encontrar la siguiente clasificación de fibras de acuerdo a su longitud (kusters, 2000).

- **Spun fibers:** son aquellas que poseen una longitud limitada que va entre 15 a 500mm.
- **Filamentos:** se caracterizan por tener una longitud interminable.
- **Flock fibras:** se caracterizan por ser fibras cortas menores a 15mm.

(kusters, 2000).

### **1.1.3.2. Por su naturaleza**

Mientras que por su naturalidad las fibras se clasifican en dos grandes grupos que son:

- **Fibras naturales**
- **Fibras realizadas por el hombre o químicas**

En donde cada una de estas clasificaciones se subdivide de la siguiente manera:

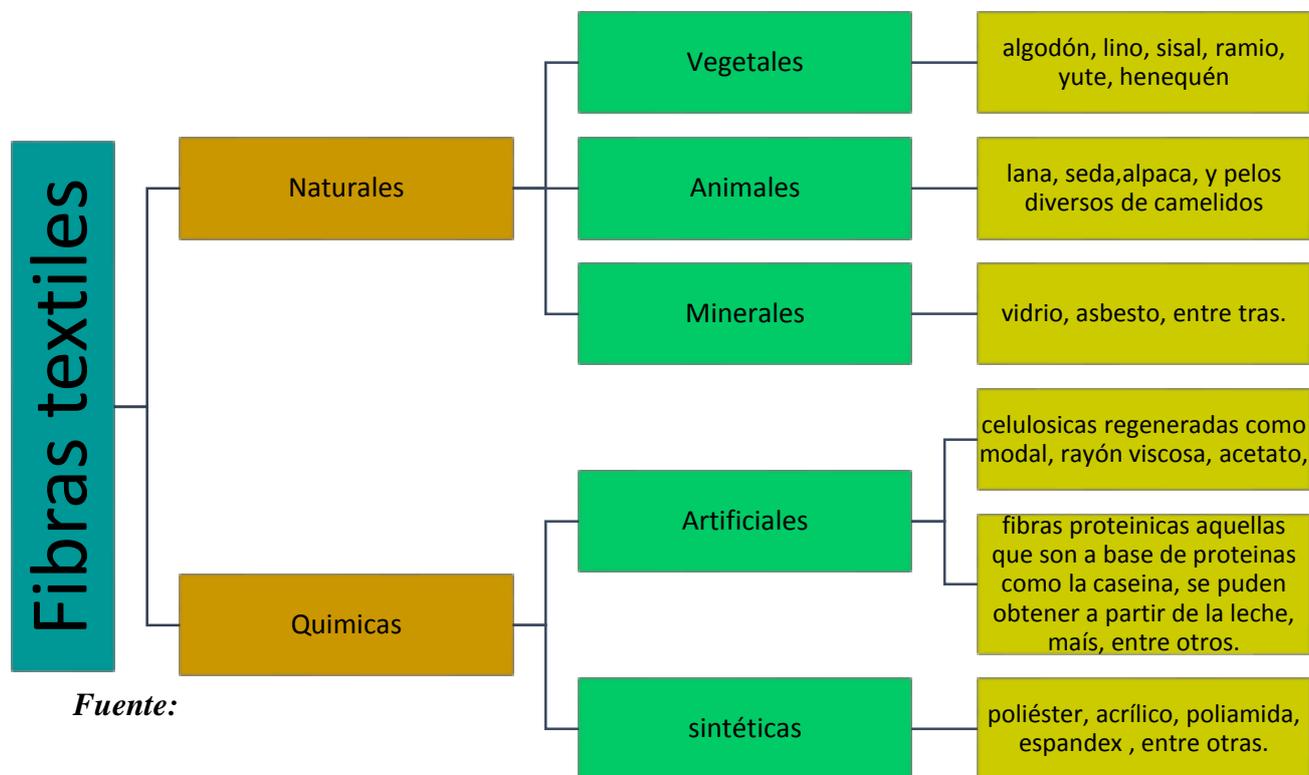
#### **a) Fibras naturales**

Las fibras naturales se definen por ser provenientes de la naturaleza es decir que se originan de manera natural, que provienen de plantas y animales, y se pueden procesar fácilmente para la obtención del hilo, además de las fibras minerales que también se originan de forma natural (The Textile Institute, 2012), pero necesitan un proceso más complejo para la obtención de un hilo.

#### **b) Fibras realizadas por el hombre o químicas**

Las fibras químicas o realizadas por el hombre son aquellas que dependen de una base modular (kusters, 2000) y dentro de la industria de diferencias dos grandes grupos como son: las fibras artificiales o regeneradas y las fibras sintéticas como el poliéster, poliamida y el poliacrilonitrilo, usados principalmente para la elaboración de ropa, artículos de hogar y para

la fabricación de textiles técnicos. A continuación podemos observar su clasificación en la ilustración 1.



*Ilustración 1: Clasificación de las fibras textiles*

(Enríquez, 2013)

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

## 1.2. Procesos textiles

### 1.2.1. La industria textil

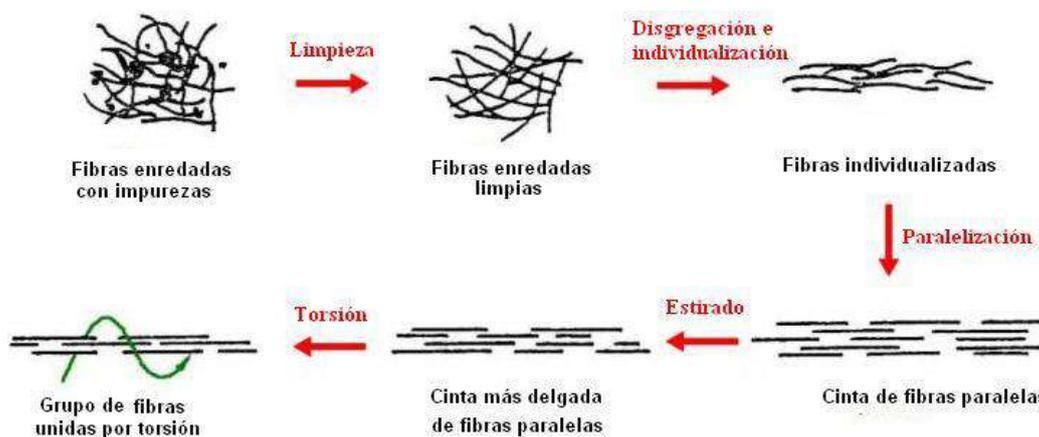
La industria textil tiene como principio la fabricación de telas a partir de una variedad de fibras tanto naturales como sintéticas. Esta se encuentra constituida por una amplia gama de procesos, que van desde la obtención de su materia prima (fibras y filamentos), por el hilado de las fibras para la posterior formación de los distintos tejidos, que posteriormente estos tejidos son sometidos a un proceso de teñido y a un tratamiento de acabados especiales. En la actualidad la industria textil se ha ido acoplado a las tendencias tecnológicas y demanda del mercado, ampliando nuevos procesos de acabados.

## 1.2.2. Proceso de Hilatura

El proceso de hilado comenzó desde la antigüedad, siendo el huso una de las primeras herramientas para hilar. El proceso de hilado fue mecanizado por primera vez con el invento de la rueda de hila alrededor del año 1400 d.C. en Europa. Y a finales del siglo XVII fue cuando el proceso se industrializó con la invención de la máquina de hilar algodón la cual accionaba varios husos a la vez (Neefus, 2001).

### 1.2.2.1. Concepto

El hilado o hilatura es el proceso con el cual se inicia la industria textil ya que son los primeros procedimientos que se deben realizar para poder ejecutar los posteriores de tejido. Por lo tanto la hilatura consiste en el conjunto de operaciones que someten a los materiales fibrosos ya sean estos de origen natural o fibras químicas a una serie de tratamientos desde su origen, cultivo o producción de fibras, hasta su transformación en hilo (Enríquez, 2013), ya sea para su venta o como materia prima para otros procesos industriales como el tejido.



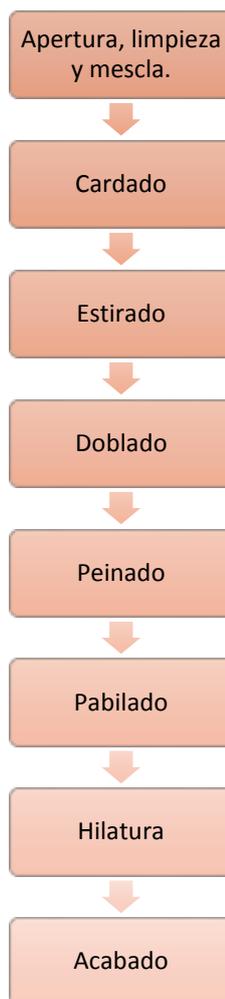
*Figura 1: Proceso de hilado*

*Fuente:* (Lavado, 2012)

El hilado es un proceso que tiene como objetivo la obtención de hilos, los cuales deben poseer ciertas características de finura, mayor o menor regularidad de diámetro y resistencia,

como efecto de la torsión aplicada, además de estar dotados con características especiales cada uno de los hilos de acuerdo a su aplicación final y a los diferentes procesos a ser sometido.

La hilatura comienza con el diferente proceso presentado en el siguiente flujo de procesos generales:



*Ilustración 2: Gráfico de diagrama sobre procesos generales de hilandería*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

### 1.2.3. Apertura, limpieza y mezcla

a) **Apertura.-** El proceso de apertura es una de las primeras operaciones a realizarse para la producción de hilado. Las fibras para su comercialización vienen empacadas con cierta presión en lo que se denomina pacas o balas (Larrañaga, 2010). Por lo tanto el proceso de apertura consiste en abrir las pacas de fibras para su acondicionamiento al medio a ser tratado, de manera que facilite los sub procesos posteriores, evitando así los enredos de fibras y la dificultad del estirado.

Este sub proceso se complementa con las operaciones de limpieza y mezcla.

b) **Limpieza.-** La limpieza que consiste en remover la mayor cantidad posible de materias extrañas a la fibra como pueden ser cascaras, polvo, pajas, ceras, que generalmente dependerá del tipo de fibra a trabajar. (Larrañaga, 2010)

c) **Mezcla.-** La mezcla en esta parte del sub proceso se lo realizar por dos razones: la primera cuando queremos mezclar fibras de origen natural del mismo tipo, ya estas fibras no son homogéneas, y se requiere una homogenización de las características de las fibras, principalmente de la longitud, la finura y el grado. La segunda cuando queremos mezclar dos o más fibras de diferente origen, en donde la mezcla persigue ser íntima de los componentes (Larrañaga, 2010).

El tipo de maquinaria a utilizarse dependera del tipo de fibra a tratar.

#### 1.2.4. Cardado

La operación de cardado es una de las más importantes de la hilatura, ya que esta determina las características finales del hilo. Siendo los objetivos del cardado los siguientes:

- Individualizar las fibras.
- Paralelizar y estirar las fibras.
- Eliminar impurezas, fibras cortas y fibras inmaduras en el caso del algodón.
- Producir un amecha o cinta continua o pabilos continuos en el caso de la lana cardada.

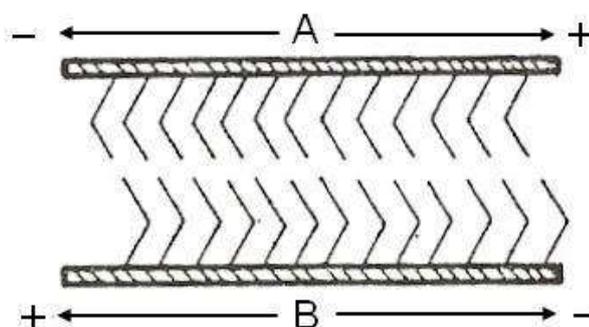
(Larrañaga, 2010).

La maquinaria de cardado se constituye de varios componentes móviles, como pueden ser tambores de carda, cilindros, limpiadores, trabajadores, chapones, entre otros, que se encuentran revestidas por puntos elásticos en acero y guarniciones de acero en forma de dientes de sierra (Lavado, 2012). Cada uno de estos elementos tendrá un movimiento de rotación o de desplazamiento lateral, con velocidades diferentes. Sus ajustes y calibraciones dependerán del tipo de fibra con el que se vaya a trabajar, y en base a los principios de cardado.

#### **Principios de cardado**

- La relación de fuerzas centrífugas de las piezas de contacto (velocidad).
- El sentido de rotación de los cilindros, uno en relación del otro.
- Sentido de orientación de los revestimientos contrarios (púas).
- Distancia entre guarniciones (ajustes y calibraciones).

(Lavado, 2012)



**Figura 2:** Diagrama de los principios de cardado

**Fuente:** (Lavado, 2012).

PRINCIPIOS DE CARDADO			
<b>1</b> La relación de fuerzas centrifugas de las piezas de contacto (velocidad).	<b>2</b> El sentido de rotación de los cilindros, uno en relación del otro.	<b>3</b> Sentido de orientación de los revestimientos contrarios (púas).	<b>4</b> Distancia entre guarniciones (ajustes y calibraciones).
$V_A > V_B$ $V_A < V_B$ $V_A = V_B$	Horario: ← Anti horario: → 	 Simétrico Asimétrico	 Distancia entre las partes cardantes
<b>Cardado</b>			
1. $V_A > V_B$ 2. Anti horario: → 3. Asimétrico	 $V_A > V_B$		

**Ilustración 3: Cuadro de los principios de cardado**

**Fuente:** (Flores Torres, 2011)

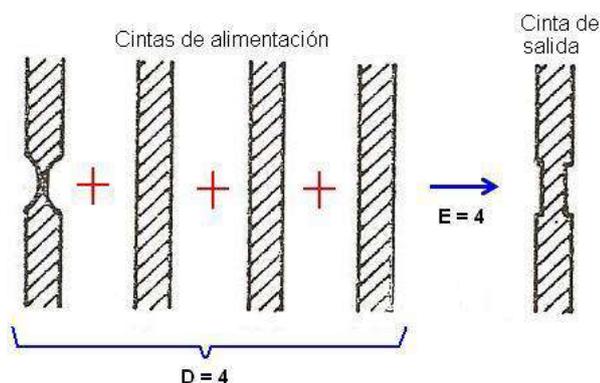
**Elaborado por:** Lisseth Pambaquishpe

**1.2.5. Estirado**

El principio de estirado tiene como objetivo adelgazar la cinta o mecha proveniente del proceso de cardado, mediante el deslizamiento de las fibras entre sí (Lavado, 2012), que se produce por la diferencia de velocidades de los elementos mecánicos que entran en contacto directo con las fibras. Siendo le estiraje siempre un valor abstracto. Además de paralelizar a las fibras o cinta, con el fin de producir una cinta más regular.

**1.2.6. Doblado.**

El sub proceso de doblado es un proceso complementario al del estirado ya que en el estirado al producir cintas más delgadas estas tienden a ser irregulares, con partes gruesas y delgas en toda su longitud. Siendo necesario una homogenización de la cinta la cual se logra mediante la yuxtaposición de las cintas de fibras. Produciendo de esta manera una cinta con mayor grosor pero mucho más regular y homogénea. Cuando trabajos con algodón el proceso se realiza en las maquinas denominadas manuales y cuando se trabaja con fibras largas se lo realiza en las estiradoras. (Lavado, 2012)



**Figura 3: Gráfico del principio de doblado**

**Fuente:** (Lavado, 2012)

### **1.2.7. Peinado**

A las fibras o cintas provenientes de procesos anteriores las somete a un proceso de peinado cuando queremos producir hilos de mejor calidad, que seas más finos y más regulares. Por lo tanto el objetivo de esta operación es:

- 1.- retirar las fibras flotantes con la finalidad de disminuir el coeficiente de variación (CV%) a lo largo de la fibra.
- 2.- paralelizar las fibras y corregir el sentido de orientación de las fibras.
- 3.- disminuir el contenido de impurezas como polvo, neps, residuos vegetales (cascaras, hojas entre otros).

(Pesok Melo, Hilatura de fibras discontinuas , 2012).

De esta manera se obtendrán cintas más regulares y uniformes.

### **1.2.8. Pabilado**

El objetivo de este procedimiento es transformar la cinta de fibras en una mecha o pabilo mediante un estiraje, para que pueda pasar al proceso de hilado. El pabilado consiste en estirar la cinta de fibras, dar una ligera torsión o falsa torsión al pabilo y bobinar o plegar la mecha o pabilo (Lavado, 2012).

### **1.2.9. Hilado**

El hilado es la fase final del proceso de hilatura, que tiene como objetivo estirar y dar la torsión precisa a la mecha o pabilo para obtener el hilo con un título definitivo. El hilo debe presentar características como solidez, elasticidad, y longitud suficiente presentadas en bobinas, para que puedan soportar los procesos posteriores (Flores Torres, 2011).

Este proceso se lleva a cabo en máquinas llamadas continuas de hilar. Actualmente más del 85% de los hilos del mundo son producidos en continuas de anillos (Lee Ivester, 2012), las cuales trabajan con los siguientes principios:

- Estiras la masa fibrosa en un sistema estirador.
- Dar una torsión por medio de un órgano rotativo.
- Enrollar el hilo producido en bobinas.

#### **1.2.10. Acabados**

Una vez obtenido el hilo en bobinas, se puede efectuar operaciones adicionales que proveen características al hilo de acuerdo a las operaciones posteriores que será sometido. Es así que el hilo puede ser bobinado, gaseado, retorcido, vaporizado entre otros.

##### **a) Bobinado**

Consiste en transformar la presentación del hilo en un formato de tronco cónico, cilindro, tipo carrete, en madejas, en bobinas, purgando y lubricando el hilo, dependiendo a la operación que será sometido posteriormente como teñido, tisaje, confección entre otros.

##### **b) Gaseado.**

Esta operación consiste en eliminar la pilosidad de los hilos con composición de fibras naturales en especial de algodón. La operación consiste en hacer pasar al hilo a una gran vellosidad de forma tangencial por una llama de abierta, de manera que se chamusca a las fibras que sobresalen en el hilo (Lavado, 2012), obteniendo un hilo de mejor aspecto, brillo, lisura y calidad.

##### **c) Retorcido.**

El retorcido consiste en llevar dos o más cabos de hilos torcidos a una máquina (retorcedora) que los reúne y los fija mediante una torsión (Lavado, 2012). Con la finalidad de obtener hilos más resistentes y voluminosos que pueden ser utilizados como hilos de trama o la producción de hilos de fantasía.

La producción del hilo se lo realiza con diferentes aplicaciones como:

- Hilos de fantasía
- Hilos de tintura
- Hilos de máquinas de coser
- Hilos de trama
- Hilos de urdimbre
- Hilos de tejido de punto

(Enríquez, 2013)

### **1.3. Procesos de Tejido**

#### **1.3.1. Introducción**

El tejido es uno de los productos más antiguos en la historia, los cuales se desarrollan para satisfacer las necesidades de vestimenta del ser humano.

Podemos identificar varios tipos de tejido como son:

- Los no tejido
- Los tejidos

#### **1.3.2. No tejidos**

Estos se caracterizan por ser láminas flexibles compuestos a base de materiales textiles como fibras y filamentos las cuales se encuentran dispuestas en forma determinada. Poseen características de resistencia, tensión, volumen, forma, suavidad, color, forma general, entre otras.

Este tipo de tejidos se obtienen mediante procesos de consolidado del material textil, los cuales pueden ser por medios mecánicos como el punzonado, por medios químicos empleando adhesivos, por disolución, por fusión o por una combinación de estos procedimientos.

Se pueden obtener películas empleadas para la fabricación de bolsas plásticas, cortinas de baño entre otras. Las espumas a partir de materiales sintéticos textiles caracterizados por su porosidad, bajo peso, y volumen. Los fieltros formados por fibras como viscosas, poliéster, los cuales se emplean en paños de limpieza.

### **1.3.3. Los tejidos**

En los tejidos tradicionales se diferencian dos grandes procesos para la elaboración de tejidos como es la tejeduría por calada o tejido plano y el tricotado o tejido de punto. Estas operaciones en la actualidad se las realizan empleando tecnología moderna, obteniendo una gran variedad de productos aplicados en diferentes campos, como en el vestir, el hogar, aplicaciones en diferentes industrias entre otras.

#### **1.3.3.1. Tejeduría por calada**

La tejeduría por calada se basa en el entrelazamiento de los hilos (urdimbre y trama) en forma perpendicular trabajando con tensiones determinadas. Donde los hilos de urdimbre son paralelos al orillo de la tela y los hilos de trama son perpendiculares a los hilos de urdimbre (Pesok Melo, Hilatura de fibras discontinuas , 2012). Este procesamiento se lo realiza en máquinas con tecnología moderna pero sus principios de fabricación vienen desde tiempos pre bíblicos (Crocker, 2012).

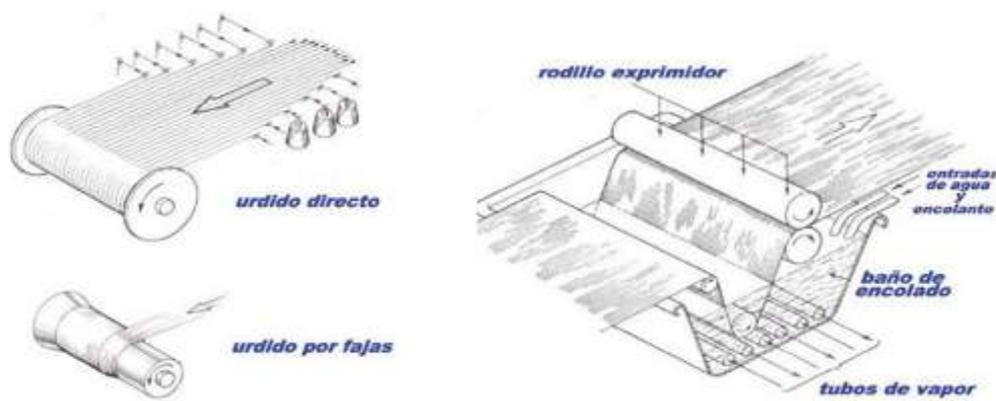
##### **➤ Preparación de urdimbres**

Para la fabricación de este tipo de tejidos es necesario realizar una previa preparación la cual consiste en tres sub procesos que son la urdición, el engomado, y el remetido.

**Urdición.-** La urdición es el proceso que consiste en reunir cierta cantidad de hilos en conos colocados en filetas y transformados en un formato de plegador de gran tamaño. Esta puede ser urdición directa e indirecta. La urdición directa es relacionada cuando los hilos de urdimbre tienen las mismas características y una secuencia organizada de los hilos. Mientras que la

urdición indirecta se refiere al proceso adicional que se lo realiza antes de pasar al telar, el cual consiste en engomar a los hilos.

El engomado viene siendo la operación que se lo realiza con la finalidad de colocar una película de apresto preparado previamente, sobre el hilo a una determinada temperatura, de manera que le brinda características de resistencia y flexibilidad a los hilos de urdimbre, para que puedan resistir el proceso de tisaje.



**Figura 4:** Gráfico de urdido y engomado

**Fuente:** (Pesok Melo, Tejeduría, 2012 )

**Remetido.-** El proceso de remetido consiste en una serie de operaciones las cuales consisten en primero pasar los hilos de urdimbre por el ojal de los lizos. El segundo paso consiste en pasar los hilos de urdimbre a través de los peines del telar y por ultimo colocar las horquillas.

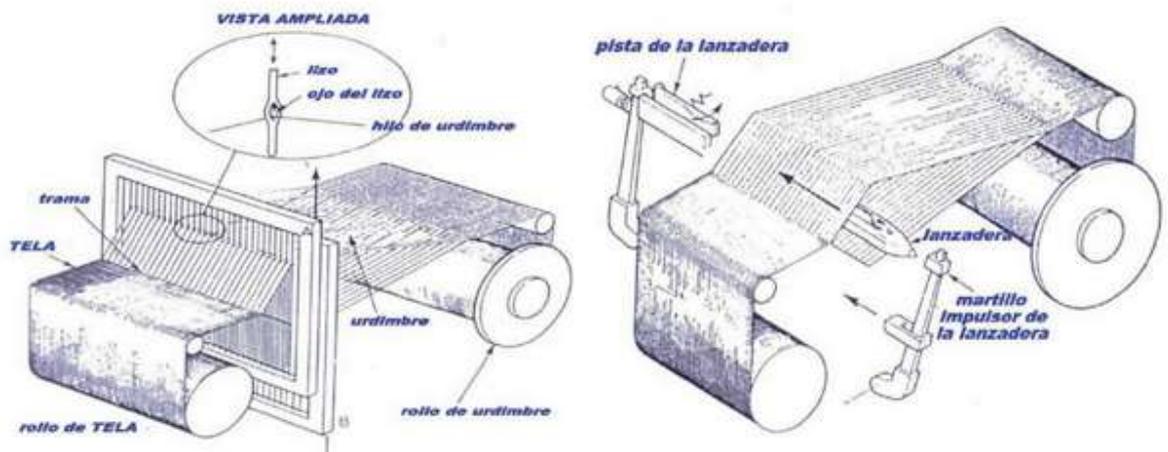
#### ➤ Máquinas de Tejeduría

Es importante conocer cuáles son los principios mecánicos e un telar. Este se basa en 4 principios.

- 1) Apertura de la calada.
- 2) Inserción de trama.
- 3) Batanado de la trama.

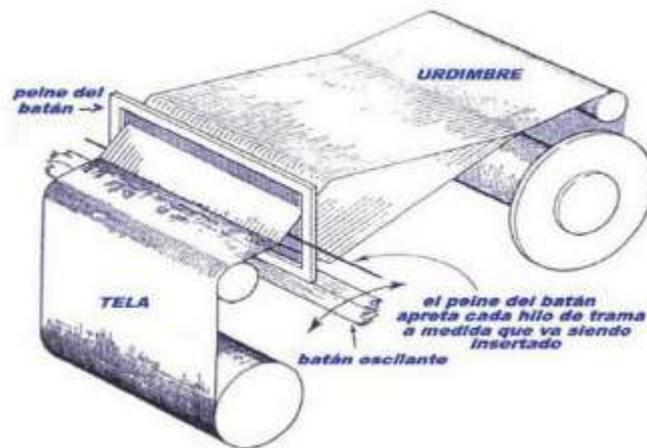
(Pesok Melo, Hilatura de fibras discontinuas , 2012).

La apertura de la calada consiste en separar de forma dinámica los hilos de urdimbre en dos grandes grupos formando un ángulo abierto, permitiendo el paso del elemento insertor de la trama con el respectivo hilo de trama. El mecanismo del elemento insertor de la trama ha ido evolucionado con el tiempo, este empezó de forma manual a través de una lanzadera que posterior mente se mecanizo, luego fue remplazado con el sistema de inserción de pizas, para posteriormente usar un sistema de proyectil, a chorro de agua y de aire, cada uno con sus características que los diferencian para diferentes usos. Una vez insertada la trama es importante que esta se ajuste a las demás tramas insertadas, determinando así la densidad y el ajuste y la tensión del tejido final, este procedimiento de encostamiento de tramas se lo denomina como batanado, ya que el batán del telar con su peine es quien se encarga de realizarlo produciendo de esta manera el tejido que al final es enrollado en un plegar con movimiento dinámico rotatorio.



**Figura 5:** Gráfico de apertura por calada y la inserción de trama en un telar de lanzadera

*Fuente:* (Pesok Melo, Tejeduría, 2012 )



*Figura 6:* Gráfico de batanado de la trama

*Fuente:* (Pesok Melo, Tejeduría, 2012 )

### 1.3.3.2. Tricotado o tejido de punto

El tejido de punto se forma mediante el entrelazamiento de bucles del hilo, esta operación se lo puede realizar de forma manual o mediante máquinas de tricotado. El tipo de tejidos que se producen en este tipo de máquinas poseen las siguientes características:

- Mayor elasticidad que le permite adaptarse a la forma del cuerpo brindándole mayor confort.
- No presenta arrugas dando una apariencia más pulcra.
- Posee un encogimiento mayor al de los tejidos por calada de un 5%.

(Lokuán, 2012)

#### ➤ Máquinas de tricotado

Este tipo de máquinas se caracterizan por estar equipadas con una cantidad determinada de agujas, las cuales poseen un peine cancho que les permiten tirar de los buches de hilos recién formados para pasarlos a través de los bucles ya formados en la pasada anterior (Crocker, 2012). Las agujas se caracterizan por tener un pestillo especial que se cierra el gancho para

tirar el hilo y evitar que se salga durante la operación, el cual una vez terminada su operación se abre para soltar el hilo.

Dentro de las maquinas tricotosas se diferencian dos tipos de máquinas como son: las tricotosas circulares y las tricotosas rectilíneas.

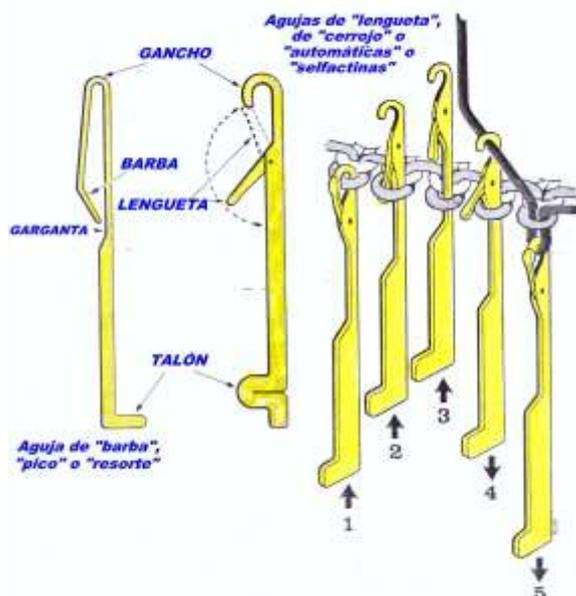
#### **a) Tricotosas circulares**

Las agujas se encuentran dispuestas en forma de círculo alrededor de un tambor o plato con ranuras determinadas para cada una de las agujas, es por eso que el tejido se forma de manera tubular, para luego enrollarse en un cilindro tomador (Crocker, 2012). Es decir que a diferencia de los tejidos planos estas no poseen orillos ya que su tejido es de forma continua.



***Figura 7: Gráfico de tricotosa circular***

***Fuente:*** (Pesok Melo, Tejeduría, 2012 ).



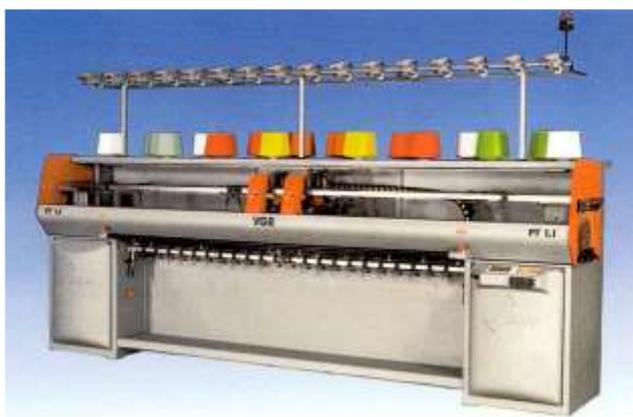
**Figura 8:** Gráfico de secuencia de trabajo de la aguja de lengüeta:

A la izquierda se muestra una aguja de “barba” y otra de “lengüeta”. En 1, 2 y 3, una aguja de lengüeta se eleva y al pasar por un punto viejo, éste abre la lengüeta. En 4, cuando la aguja vuelve a descender, engancha hilo o es “alimentada” con hilo. Al pasar por un punto viejo la lengüeta se vuelve a cerrar. En 5 la aguja ya pasó y formó un punto nuevo.

**Fuente:** (Pesok Melo, Tejeduría, 2012 ).

#### b) Tricotosas rectilíneas

Este tipo de máquinas se caracterizan por tener las agujas dispuestas en línea recta, de manera que el tejido sale en forma de hoja plana, que se enrolla en un cilindro.



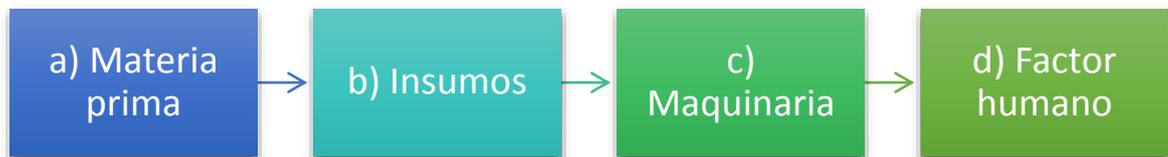
**Figura 9:** Gráfico de máquina tricotosa por urdimbre

**Fuente:** (Pesok Melo, Tejeduría, 2012 )

En la actualidad los procesos de tejido han ido mejorando con la automatización y el empleo de la tecnología, con el fin de obtener telas de mejor calidad y una mayor producción en el menor tiempo posible.

#### 1.4. Procesos de Tintorería

El proceso de teñido se caracteriza por ser un proceso de ennoblecimiento del textil, que permite cambiar por completo el aspecto o apariencia del tejido, dándole una característica de color (Martín J. C., 2016). Dentro de la industria textil se considera como uno de los procesos más importantes debido a su complejidad, el cual ha tenido una evolución con el pasar de los tiempos. Hay que tomar en cuenta que el tipo de colorante a usar depende mucho del tipo de fibra que se va a tinturar, y de igual manera depende el tipo de maquinaria a usar. Para poder tinturar es necesario tomar en cuenta los siguientes factores:



*Ilustración 4: Factores para tintorería*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

- a) **Materia prima.**- esta pueden ser fibras, hilos, y tejidos.
- b) **Insumos.**- son todos aquellos productos químicos que intervienen en los procesos de tintura como blanqueadores, colorantes, enzimas, agua, humectantes, ácidos y demás auxiliares. Es muy importante considerar las características de cada insumo, ya que cada uno de ellos trabaja a un pH y temperatura determinada (Lockuán Lavado, 2015)

c) **Maquinaria.**- podemos encontrar una gran variedad de maquinaria en la que se puede llevar a cabo la tintura de los materiales textiles, y van a depender del sistema con el que se esté trabajando, los cuales a la vez van a depender de:

- El sustrato a procesar.- maquinarias que tinturan fibras, cintas, madejas, bobinas de hilos, plegadores de hilo etc.
- El método de procesamiento.-este depende del material y el acabado a obtener. Pueden ser sistemas continuos, semi-continuos, y discontinuos.
- El principio de funcionamiento.- depende del sustrato y del tratamiento; sistema de circulación del baño, sistema de material en movimiento, sistema donde el material y el baño están en movimiento.
- Las condiciones de proceso.-depende del material y el tratamiento: sistemas que trabajan a presión y elevadas temperaturas, sistemas abiertos.

(Lockuán Lavado, 2015)

En base a estos criterios podemos tener máquinas de:

- Máquinas para la tintura de fibras, cintas e hilos.
- Máquinas para la tintura de tejidos en cuerda.
- Máquinas de teñido para tejidos abiertos.
- Máquinas para teñir prendas confeccionadas.

#### d) **Factor humano**

Este factores uno de los más importantes ya que es quien decide a los anteriores, ya que dirige a los niveles operativos, medio y directos.

##### **1.4.1. El teñido**

Para poder teñir el colorante debe permanecer en el material textil, conociéndose tres métodos, que dependiendo de los materiales textiles y colorantes estos puedan realizar el proceso de tintura.

- a) **Por Adsorción física.**- cuando los colorantes tiene afinidad por las fibras, y son suficientemente fuertes las moléculas para permanecer en las fibras, para poder resistir los procesos posteriores de lavado.
- b) **Por Adsorción mecánica.**- se emplean pigmentos insolubles libres de insolubilidad química para la el teñido del material textil.
- c) **Por reacción en fibra.**- en este método las moléculas del colorante tiende a reacciona con las moléculas de las fibras, esto debido a que el colorante durante el baño no pierde todos sus grupos funcionales generando enlaces covalentes con las fibras tiñéndolas.

(Lockuán Lavado, 2015)

#### 1.4.2. Procesos de tintura.

Además de conocer los métodos de cómo se puede tinturar los materiales textiles, también es fundamental conocer los procedimientos que se pueden seguir para poder tinturar, como son:

- a) **Tintura por agotamiento.**- este procedimiento consiste en disolver el colorante en el baño de tintura, para posteriormente sumergir el material textil en el baño de tintura que con los demás auxiliares de tintura permite penetrar el colorante de manera uniforme en todo el género textil fijándose y eliminando el exceso del colorante.
- b) **Tintura por impregnación.**- este proceso se lleva a cabo mediante un sistema de foulard que permite distribuir el baño de teñido sobre la tela de manera homogénea. También tiene la función de penetrar el colorante en el tejido a través de la presión y eliminar el exceso de colorante mediante el exprimido.

(Lockuán Lavado, 2015)

## 1.5. Proceso de acabado

El proceso de acabado consiste en una amplia gama de tratamientos llevados a cabo durante los procesos finales de fabricación del material textil ya sean telas o prendas de vestir. La finalidad de los diferentes tratamientos es la de mejorar ciertas características de las telas como elasticidad y suavidad, también el de añadir nuevas características al material textil (Lockuán F. E., 2012). Los acabados a realizar en el sustrato textil pueden ser mecánicos o químicos.

### 1.5.1. Acabados mecánicos.

Son tratamientos que se llevan a cabo sobre el material textil en seco y sin productos químicos, cambiando así la textura y aspecto de los tejidos. Como procesos mecánicos tenemos (Niyogi, 2012).

- a) **Sanforizado.-** el objetivo es tener una tela con efecto liso, brillante y densa, el cual se logra aplicando presión, calor y fricción. El proceso consiste en hacer pasar el tejido entre una cinta de cacho y un cilindro caliente, y continuación se pasa el tejido entre el cilindro caliente y una mantilla sin fin, logrando así controlar el encogimiento y un tacto suave (Niyogi, 2012).
- b) **Lijado.-** consiste el hacer pasar el tejido por unos cilindros cubiertos de arena, permitiendo así modificar la superficie del tejido logrando una gran suavidad al tacto.
- c) **Gofrado.-** ese tipo de tratamientos se lo realiza en tejido de composición sintética. El proceso consiste en hacer pasar el tejido por rodillos grabados con diseños, que a través de presión y temperatura el diseño se transfiere al tejido de forma permanente (Niyogi, 2012), logrando diversos diseños en los tejidos.
- d) **Termo fijado.-** se trabaja en tejido sintético como poliéster. Este proceso se lo realiza en una máquina termo fijadora (rama) que por semi-contacto del tejido a

temperaturas elevadas estabilizando y evitando el encogimiento del tejido (Niyogi, 2012).

- e) **Cepillado.**- el tejido pasa por cilindros cepilladores que giran a alta velocidad modificando la superficie y el tacto de la tela.
- f) **Esmerilado.**- el objetivo es cambiar el aspecto y el tacto del tejido mediante cilindros recubiertos de papel esmeril (Niyogi, 2012).

### 1.5.2. Acabados químicos

Este tipo de acabados se lo realizan con la aplicación de diferentes productos químicos sobre el sustrato textil. Con el fin de modificar la apariencia y el tacto del tejido. Dentro de los acabados químicos hay que considerar el tipo de material del tejido, si es celulósico, si se trabaja con proteínicos o sintéticos. Los acabados químicos pueden ser:

- a) **No permanentes.**- son aquellos que aplicados sobre el sustrato textil, no suelen durar a los diferentes lavados ya que no forman película, ni originan reacciones químicas con el sustrato textil. Estos acabados pueden ser suavizados con resinas en materiales textiles celulósicos.
- b) **Semipermanentes.**- este tipo de acabados comprende los tratamiento de los tejidos con productos con una fuerte tendencia a la formación de películas sobre la superficie del sustrato textil. Pero sin cambiar el índice de hinchamiento del tejido ya que no originan reacciones químicas con el sustrato textil celulósico.
- c) **Permanentes.**- este tipo de acabados se los realiza con productos de carga que si generan reacción con los sustratos celulósicos o proteínico, logrando acabados afieltrantes en el caso de la lana y acabados inencogibles para el algodón. Para este tipo de acabados se utiliza resinas reactantes reticulantes que reaccionan con los

grupos OH del algodón. Además de que resisten a los diferentes procesos de lavado, dándole así la característica de acabado permanente.

## CAPITULO II

### 2. TEXTILES INTELIGENTES

#### 2.1. Introducción

El inicio del siglo XXI ha sido testigo de las nuevas innovaciones y cambios tecnológicos que se han presentado en el mundo entero y en diferentes campos de la ciencia, el diseño y como no también en el arte de los textiles. Presentando una gama de nuevas innovaciones en materiales y prototipos textiles inteligentes, permitiendo tener una perspectiva hacia el futuro de los textiles inteligentes, de la manera en la cual actuarían habitualmente en sus funciones con el ser humano. Por ejemplo telas capaces de acumular energía solar y de que a la vez sean capaces de emitir luz o calor, pantallas textiles digitales e interactivas; telas sensibles al tacto, telas recubiertas para detectar un pulso entrecortado o contaminantes ambientales, edificios textiles, y armaduras de tela capaces de cambiar de color, o músculos textiles flexibles, entre otros (Colchester, Materiles, 2008)

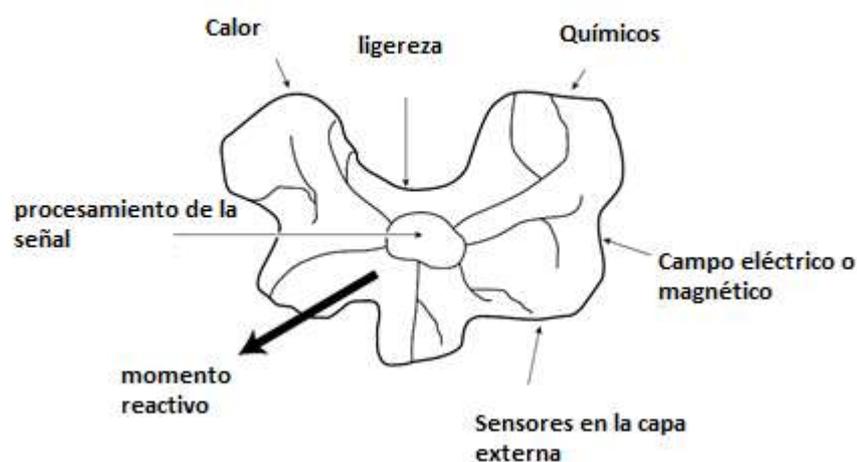
En la actualidad las prendas de vestir no solo sirven para cubrirse o abrigarse, sino que son capaces de transmitir mucho más. Sintiendo y viviendo en esta era el gran impacto de la tecnología, en la tradicional industria textil, hoy en día se aprovechan los avances tecnológicos de muchos campos de la ciencia como la medicina, electrónica, arquitectura y la ingeniería, para combinarse con la tecnología textil, de manera que los diferentes campos de la ciencia dan como resultado sorprendentes materiales inteligentes y productos textiles sustentables, con un valor agregado que permitan al usuario experimentar nuevas experiencias, como por ejemplo, escuchar música, orientarse, protegerse del entorno o simplemente jugar (Martín M., 2010).

De esta manera los textiles inteligentes en la actualidad se han ido reinventando y dándose a conocer en todo el mundo en los diferentes campos de la ciencia como medicina y arquitectura, así también como en las diferentes pasarelas del mundo.

## 2.2. Definición

Conocidos como textiles inteligentes, Smart textiles, intelligent textiles, en realidad son aquellos materiales y estructuras textiles inteligentes producto de la combinación de la tecnología con los textiles (fibras, tejidos, no tejidos, etc.) “que perciben y reaccionan a las condiciones ambientales o estímulos, ya sean mecánica, térmica, eléctrica, magnéticas” (Tao, 2001) y que brindan una funcionalidad al usuario.

Para mayor comprensión del origen y clasificación de los textiles inteligentes Xiaoming Tao explica a través de la vida unicelular, como ejemplo de estructura inteligentes de la naturaleza. La cual representa el comportamiento y la reacción del organismo unicelular frente a las distintas condiciones ambientales o estímulos externos, como estímulos de fuerza, temperatura, radiación, reacciones químicas, campos eléctricos y magnéticos, que actúan sobre la capa externa de la criatura unicelular. Las distintas reacciones son detectadas a través de sensores colocados en la capa externa del organismo unicelular, los cuales además transportan la información para el procesamiento de la señal y su interpretación (Tao, 2001).

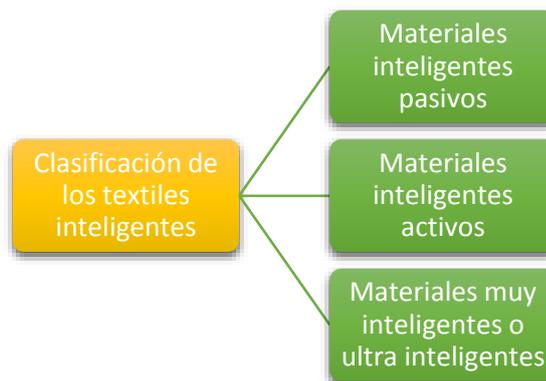


**Figura 10:** Gráfico de un organismo celular como ejemplo de estructura inteligente

**Fuente:** (Tao, 2001)

### 2.3. Clasificación

Para la clasificación de los textiles inteligentes o materiales inteligentes, lo podríamos realizar de acuerdo al campo de aplicación, pero para nuestro estudio de la evolución de los textiles ultra inteligentes, es necesario clasificarlos de acuerdo a la forma de reacción según Xiaoming Tao, como son:



*Ilustración 5: Clasificación de los textiles inteligentes*

*Fuente:* (Tao, 2001)

*Elaborado por:* Lisseth Pambaquishpe

#### 2.3.1. Características de los materiales textiles inteligentes

Para considerarlo como material textil inteligente deben presentarse uno de los tres componentes esenciales en el material textil como son: sensores, actuadores y unidades de controladores.

- **Sensores.**- son transductores que nos permiten medir la variable física de un sistema de fuerza física, presión etc. Dentro de los materiales textiles inteligentes actúan como un sistema nervioso detectando las señales del entorno.
- **Actuadores.**- hace la función inherente de proporcionar una señal eléctrica al sistema de control. Estos actúan directamente sobre la señal o desde la unidad central de control conjuntamente con los sensores.

➤ **Unidad de control.**- es la unidad central en donde permite la cognición, razonamiento, la cual tiene la capacidad de activación o reacción.

(Tao, 2001).

### **2.3.2. Materiales textiles pasivos o de primera generación.**

Estos materiales se caracterizan por ser capaces únicamente de percibir los estímulos externos y demás condiciones ambientales, ya que es su sistema inteligente implica solo el funcionamiento de sensores, careciendo de los dos sistemas complementarios, de actuadores y de una unidad de control. Permitiendo solo la detección de señales (Tao, 2001).

### **2.3.3. Materiales inteligentes activos o de segunda generación.**

El sistema inteligente de este tipo de materiales inteligentes activos se encuentra compuesto esencialmente de un sistema de sensores y actuadores. Permitiéndoles únicamente detectar y reaccionar a las señales de los estímulos externos (Tao, 2001).

### **2.3.4. Materiales muy inteligentes o ultra inteligentes o de tercera generación.**

Se consideran materiales muy inteligentes o ultra inteligente a aquellos que además de incluir sensores y actuadores, posee una unidad central que funciona como un cerebro, el cual aplica la cognición, el razonamiento y que además tiene la capacidad de reacción frente a los diferentes estímulos externos. Logrando un mayor nivel de inteligencia ya que son capaces de adaptarse al medio ambiente, en consecuencia de respuesta a estímulos ya sea mediante una función pre programada o de forma manual (Tao, 2001).

## **2.4.Importancia**

El estudio de los textiles inteligentes resulta de gran importancia ya que la innovación de los materiales textiles implica que el ser humano sepa responder de manera inteligente a los textiles con los que convivimos diariamente. Con la finalidad de poder afrontar el impacto

ambiental y comercial que representa este tipo de innovaciones tanto a nivel internacional como de cada uno de los países (Colchester, Textiles para el siglo XXI, estudio global , 2008 ).

En la actualidad existen una gran variedad de estudios sobre los textiles contemporáneos, así también existen en la actualidad pocos estudios sobre las nuevas innovaciones de los materiales y diseños textiles, siendo importante la recolección de información y demás estudios para evitar una información fragmentada.



## CAPITULO III

### TEXTILES INTELIGENTES DE SEGUNDA Y TERCERA GENERACIÓN

#### 3.1. Materiales textiles inteligentes activos o de segunda generación

##### 3.1.1. Introducción

El desarrollo de los materiales textiles inteligentes o Smart textiles desde sus inicios ha tenido como inspiración la naturaleza, un claro ejemplo es el desarrollo de las diferentes fibras sintéticas y microfibras que se originaron en base al perfeccionamiento e imitación de las fibras y estructuras naturales como la lana, el algodón, la seda, entre otras. Los materiales activos se desarrollaron en base a las diferentes necesidades de imitar a estos productos naturales.

Los materiales inteligentes activos se los conoce como materiales de segunda generación, en donde se presentan el desarrollo de actuadores basados en polímeros conductores los cuales han alcanzado niveles muy altos de densidad de energía (Tao, 2001). Dentro de este campo de investigación integra multidisciplinarias como física, química, termodinámica, ciencia de los materiales, entre otras, que dan origen a una gran gama de Smart textiles que implica el uso de sensores y actuadores.

- Materiales fotosensibles
- Fibra óptica
- Polímeros conductores
- Materiales sensibles térmicos
- Materiales con memoria de la forma
- Capa de membrana inteligente
- Química de polímeros sensibles
- Materiales sensibles mecánicos

- Micro capsulas
- Micro y nano materiales

(Tao, 2001)

### **3.1.2. Aplicaciones y usos**

Dentro de las aplicaciones de los textiles de segunda generación tenemos los materiales de la forma y materiales fotosensibles en los cuales se pueden diferenciar dos grupos los de aplicación, los de pigmentos foto crómicos y de pigmentos termo crómicos ( COTEC , 2014).

#### **a) Materiales fotosensibles**

*Aplicación de pigmentos foto crómicos.-* se aplica con el objetivo de que cuando incida la luz solar o rayos UV sobre el material textil, este tienda a cambiar su color de forma reversible durante un periodo de tiempo cuando cese la excitación de las partículas ( COTEC , 2014). Este tipo de materiales pueden ser fosforescentes, fluorescentes y electroluminiscentes.

*Aplicación de pigmentos termo crómicos.-* este tipo de materiales textiles tienden a cambiar de color cuando se encuentran expuestos a una determinada temperatura, utilizando tecnología basada en cristal líquido ( COTEC , 2014).

Suzanne Woodwing es una de las creadoras de prendas que aplican tecnología termo crómica. Elaborado prendas capaces de reaccionar a distintos factores como el agua, al sol y al viento. Emplea procesos de impresión digital con tintas que reaccionan al agua, tintas termo crómicas y que brillan en la oscuridad (Martín M. S., Tecnología para tu cuerpo, 2010).

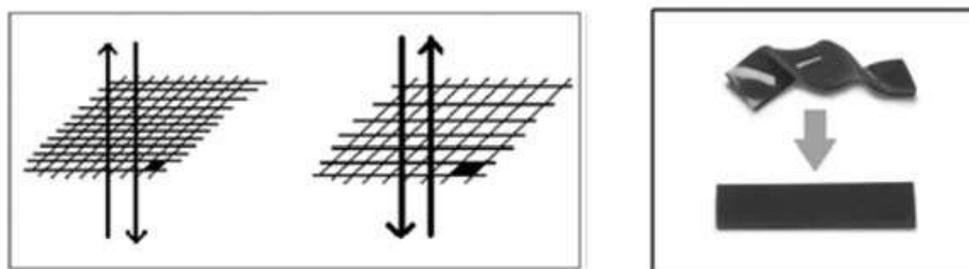


**Figura 11:** Diseños con impresión digital.

**Fuente:** Martín, M. S. (2010). *Tecnología para tu cuerpo*. En M. S. Martín, *El futuro de la moda. Tecnología y nuevos materiales* (pág. 164). maomao publications.

#### b) Los materiales con aleaciones con cambio de forma

Se aplica sobre el material textil aleaciones metálicas permitiendo una deformación aparentemente plástica, que mediante la acción de temperatura tiende a deformarse hasta un 10% volviendo a recuperar su forma original (COTEC, 2014).



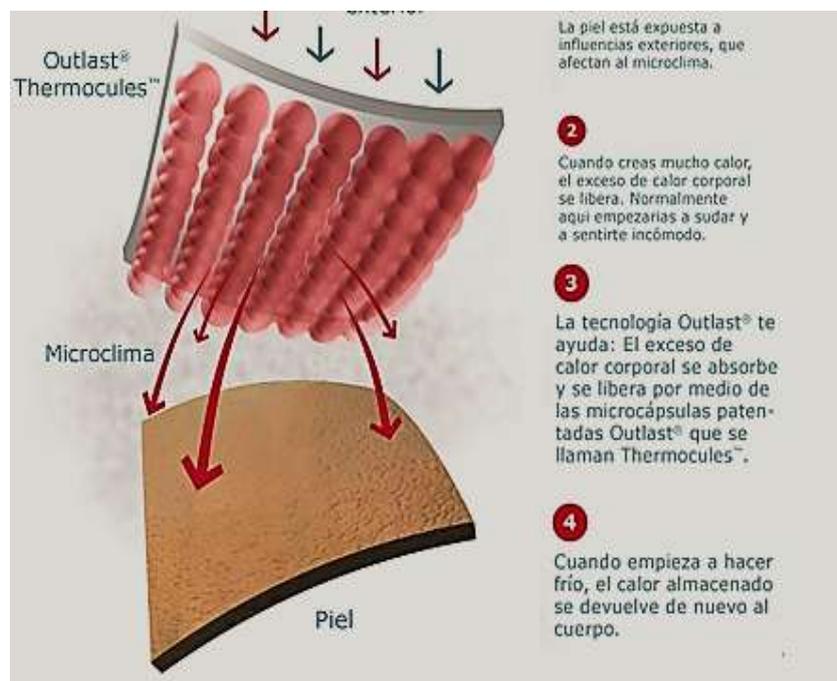
**Figura 12:** Efecto de cambio de forma

**Fuente:** COTEC. (2014). *Nuevos materiales textiles y tecnologías de aplicación en los textiles de uso técnico*. En COTEC, *Textiles técnicos* (pág. 120).

Este tipo de material se utilizó en la fabricación de los trajes de los astronautas, en la actualidad se pueden encontrar empresas dedicadas a la fabricación de ropa con el uso de este tipo de materiales.

### c) Material de cambio de fase Outlasts.

Outlast Technologies, Inc. Produce fibras, telas o espuma Adaptive confort las cuales son capaces de mantener la temperatura y humedad del cuerpo en su punto ideal obteniendo un equilibrio térmico, independientemente de los factores externos y la intensidad de la actividad de la persona que lo use. Esto se debe a la capacidad de los materiales PCM que pueden absorber el calor, almacenarlo y liberarlo cuando sea necesario (Martín M. S., Tecnología para tu cuerpo, 2010). Esta tecnología se aplica a productos como calzado deportivo y casual, prendas de deportivas, exteriores, ropa interior, cascos, guantes, vendajes ortopédicos, ropa para mascotas, entre otros.



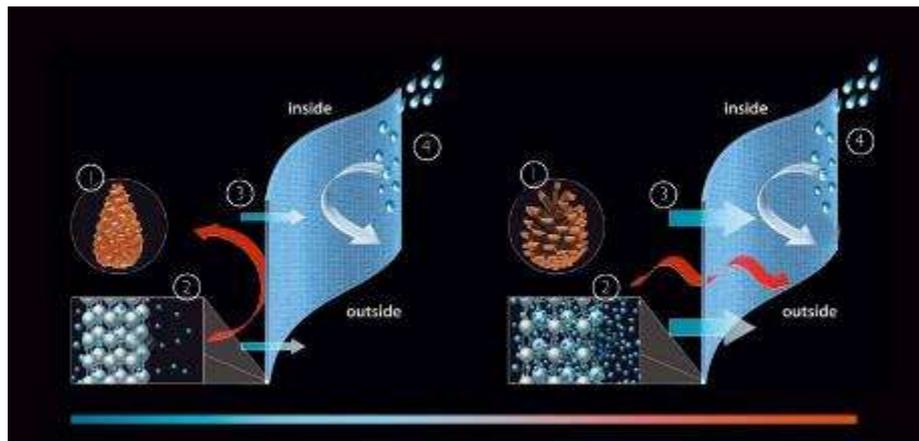
**Figura 13:** Funcionamiento de la tecnología Outlasts

**Fuente:** Outlast Technologies LLC. (2014 ). Outlast. Obtenido de Outlast:  
<http://www.outlast.com/es/tecnologia/>

### d) Membranas inteligentes

El principio de las membranas inteligentes está basada en la naturaleza, de la manera como las piñas de los pinos reaccionan ante el calor y el frío. Las membranas

son estructuras flexibles de polímeros e hidrófilas, que le permite reaccionar ante los estímulos de calor y frío. De manera que se abren y permiten que el vapor de humedad del cuerpo se libere inmediatamente. Mientras que cuando el cuerpo produce menos calor, la membrana tiende a contraerse reteniendo el calor (Martín M. S., Tecnología para tu cuerpo, 2010).



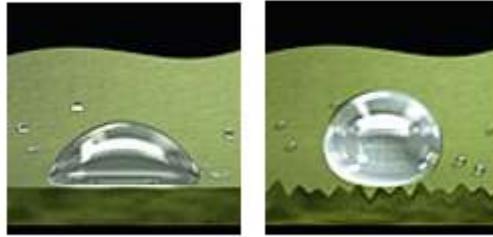
**Figura 14:** Funcionamiento de la tecnología c\_change™

*En el numero 1 Conos de pino abierto y cerrado, el numeral 2 representa la estructura del polímero abierto y comprimido respectivamente, el numeral 3 explica que el exceso de calor corporal y la humedad pueden escapar al exterior. Y la combinación de retención de calor y transpiración crear un clima corporal agradable. El numero 4 representa la resistencia al viento y al agua de la membrana*

**Fuente:** choller textiles AG. (December de 2014). Schoeller. Obtenido de Schoeller: [www.c-change.ch](http://www.c-change.ch).

#### e) NanoSphere (Nano esferas)

Los materiales de NanoSphere forman una estructura rugosa por medio de nano partículas en la superficie de la tela dándole la propiedad antiadherente y de auto limpieza, evitando así que las telas se ensucien en presencia de líquidos como agua, aceite, salsa, entre otras.



**Figura 15:** Tecnología NanoSphere®

**Fuente:** Choeller Technologies AG. (septiembre de 2014). Schoeller. Obtenido de Schoeller:

[www.nano-sphere.ch](http://www.nano-sphere.ch)

## **3.2. Materiales textiles ultra inteligentes o de tercera generación**

### **3.2.1. Introducción**

También nuestra piel es considerada como material inteligente ya que ella posee sensores y actuadores, que conjuntamente con nuestro cerebro es capaz de adaptarse y reaccionar a los diferentes estímulos y condiciones naturales externas como al sol, calor, al frío, entre otras. En esta última década bajo la inspiración de la naturaleza se han dado nuevas invenciones que han dado origen a la creación de productos novedosos, es así que se ha llegado a crear textiles ultra o muy inteligentes en aeroespacial, transporte, telecomunicaciones, viviendas, edificios e infraestructuras (Tao, 2001). Los textiles ultra inteligentes integra materiales textiles compuestos de sensores de fibra óptica capaces monitorear la salud del ser humano y que mediante actuadores integrados puedan transmitir la información del usuario de forma remota a un hospital mediante una unidad de control.

También podemos encontrar ropa muy inteligente que integra sentidos y cerebro propios que pueden detectar el posicionamiento global mediante un GPS integrado como la tecnología de la telefonía móvil, dando así información de posicionamiento y direcciones. Se han desarrollado tejidos capaces de remplazar órganos del ser humano como oídos, narices, entre otros, esto mediante el uso de las fibras biodegradables (Tao, 2001). Los materiales textiles muy inteligentes combinan diferentes áreas de investigación, y utilizan tecnología tanto de

los materiales textiles de la primera y segunda generación, encontrando las siguientes áreas de investigación:

**3.2.2. Para sistema de transmisión de señal, de procesamiento y de controles.**

- Sistemas de red y control de los nervios
- Sistemas y teoría de la cognición.

**3.2.3. Para productos y procesos integrados.**

- Fotónica y procesos integrados
- Estructuras adaptables y sensibles
- Biomimética
- Bioprocesamiento
- Ingeniería de los tejidos
- Química de liberación de fármacos

(Tao, 2001)

Estas áreas de investigación son necesarias para la creación de materiales muy inteligentes. Actualmente las actividades de investigación en estas diferentes áreas se llevan a cabo en las diferentes universidades y empresas de interés pertenecientes a países norteamericanos, asiáticos y europeos (Tao, 2001). Los resultados de las diferentes investigaciones se han visto presentes tanto en el desarrollo de productos comerciales, como en las distintas publicaciones de investigación en revistas de gran interés como Scopus, Cielo, entre otras.

Nuestro análisis se basará de acuerdo a estas diferentes áreas de investigación que se han venido desarrollando en la última década.



## **PARTE PRÁCTICA**

### **CAPITULO IV**

#### **4. ANÁLISIS Y EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES TEXTILES ULTRA INTELIGENTES**

##### **4.1. Introducción**

Nuestro estudio se basa en el análisis de los materiales textiles inteligentes de tercera generación, sus principios, su evolución y sus aplicaciones. Estos textiles son considerados como los textiles inteligentes de más alto nivel según Zhang y Tao (2001), ya que tienen la capacidad de sentir, reaccionar y adaptarse a las condiciones o estímulos medioambientales. De acuerdo con Van Langenhove y Hertleer la mayor parte aplicaciones de los textiles inteligentes de tercera generación se lo realiza en el campo de la vestimenta. La cual comprende una gran gama como son: ropa de trabajo, ropa deportiva, ropa médica, ropa casual, accesorios, abrigos, entre otros. Cada uno diseñados para cumplir diferentes funciones. Por otra parte, también se considera la aplicación este tipo de tecnología en artículos para el hogar, como cortinas, alfombras, etc., además de encontrar actualmente en el mercado zapatos inteligentes, ropa con tecnología espacial, entre otros.

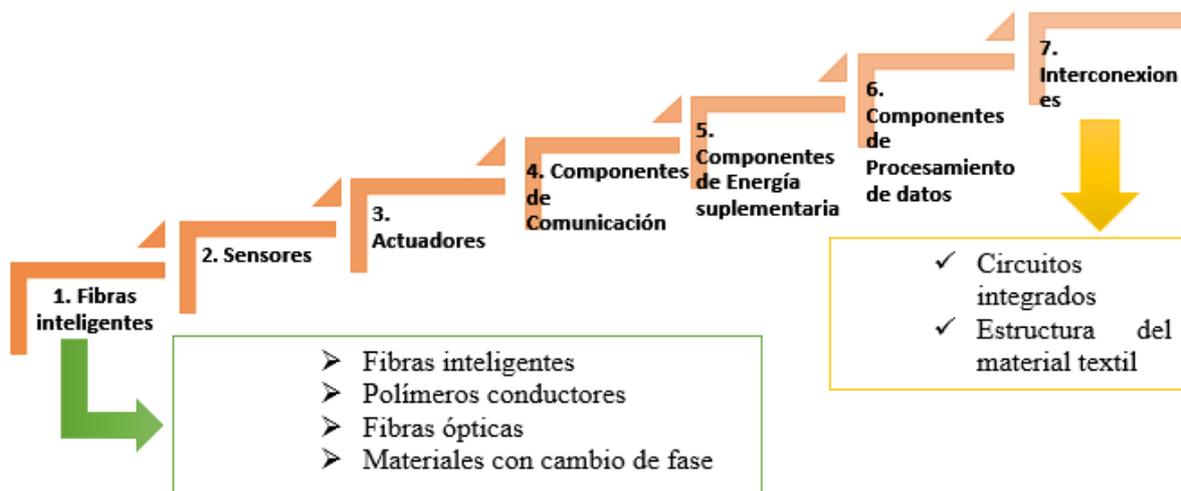
Se puede realizar muchas aplicaciones en los materiales inteligentes, las cuales dependen solo de nuestra imaginación y creatividad. Aun en día la aplicación de esta tecnología tiene algunos contratiempos, ya que para su desarrollo implica tomar en cuenta algunos factores, como su funcionalidad, la comodidad, el confort, que sea fácil de lavar, que sea resistente al desgaste, reutilizable, que se pueda renovar y reciclar, y que también este con la tendencia de la moda. Esto nos da la pauta de considerar que en la actualidad este tipo de tecnología no se aplica a la ropa de ocio y cotidiana de hogar, por lo que necesita más investigación para su desarrollo en este campo tecnológico, con el fin de que, el ser humano pueda convivir con este tipo de materiales de forma cómoda y sin problemas en su diario vivir.

En el 2001 Zhang y Tao determinan una diversidad de prendas de vestir con aplicaciones de este tipo de tecnología como son: trajes espaciales, chaquetas musicales, ropa inteligente que incorpora dispositivos de comunicación, Datawear, chaquetas deportivas, sujetadores inteligentes, zapatos inteligentes, ropa con ordenadores portátiles, ropa inteligente con cuatro funcionalidades como la comunicación, la navegación, interacciona con el usuario y la vigilancia del medio ambiente y la calefacción, ropa capas de interactuar con computadores, ropa que permite el alto rendimiento de los deportistas, creando el bum de la tecnología textil más allá de lo conocido en esa época, permitiendo abrir un sin número de investigaciones que existen actualmente y cuya información se ha visto plasmada en la publicación de artículos y libros, ampliando así más su conocimiento. Estos son algunos de los ejemplos que les podemos presentar de textiles ultra inteligentes. Todos ellos tienen principios definidos en común.

#### **4.2. Principios de los textiles ultra inteligentes**

Se deduce que los materiales textiles considerados de tercera generación se encuentran definidos en un principio por tres componentes principales como son sensores, actuadores y por unidad de procesamiento, que permite al actuador conducirse sobre la base de las señales del sensor (Van Langenhove & Hertleer, 2004), estos elementos conjuntamente trabajan para brindar al usuario una función determinada. Generalmente se encuentran presentes en las prendas de vestir conocidas como Smart cloths. A partir de este concepto varios autores han definido principios con los cuales actúan los materiales textiles de tercera generación. En el 2005 Tao X.M. define 5 componentes que conforman una ropa inteligente, como son: (1) Interfaces, (2) componentes de comunicación, (3) componentes de gestión de datos, (4) componentes de gestión de energía, y por último (5) los circuitos integrados. Pero en la actualidad podemos definir a más de 5 elementos básicos y describir su principal función. Además podemos considerar algunos de estos elementos como diferentes del material textil

con capacidad de ser integradas y conectadas entre sí de forma eficaz. En virtud de lo analizado en las diferentes literaturas, podemos determinar que, como principios de funcionamiento para un traje inteligente o material textil de tercera generación, hay que tomar en cuenta los siguientes elementos:



*Ilustración 6: Características principales de los textiles inteligentes de tercera generación.*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

#### 4.2.1. Materiales Textiles Inteligentes

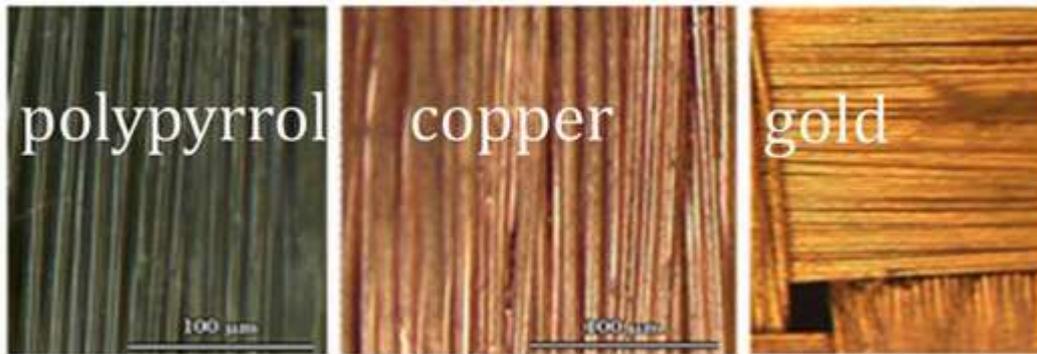
De la diferente literatura especializada se deduce que los materiales textiles han tenido un desarrollo tecnológico entrando a un periodo de innovación, que trabaja conjuntamente con otras disciplinas como la biología, la electrónica, la informática, la química, la ingeniería y en especial la ciencia de los materiales (Colchester, Materiles, 2008). Este campo consiste en la creación de nuevos materiales textiles, como son, fibras, filamentos, elastómeros, tejidos, entre otras, permitiendo de esta manera la creación de productos textiles muy inteligentes, que son capaces de acoplarse a los demás elementos. La innovación de estos materiales es muy importante para lograr el desarrollo exitoso de los textiles ultra inteligentes, considerándose así una parte muy fundamental. Es así que se han determinado como principales materiales textiles los siguientes:

- ✓ Materiales textiles conductores
- ✓ Fibras electro-activas
- ✓ Fibras ópticas
- ✓ Fibras ópticas de vidrio
- ✓ Fibras ópticas de polímero
- ✓ Materiales de cambio de fase o PCM
- ✓ Materiales nanotecnológicos

#### **4.2.1.1. Materiales textiles conductores**

De acuerdo con Lieva Van Langenhove se deduce que la electro-conductividad de los materiales textiles es la base para dar origen a los textiles inteligentes. En la actualidad ya se encuentran en uso y comercialización determinados materiales textiles con capacidad conductiva. Dentro de los materiales textiles convencionales con excelente característica conductora tenemos a las fibras metálicas de acero inoxidable y cobre (Lieva Van Langenhove C. H., 2012). Pero la desventaja de utilizar este tipo de fibras es que al ser finas, difícilmente soportan los procesos de hilado y tejido por su baja flexibilidad. Es por eso que actualmente las empresas han optado por la implementación de fibras poliméricas con característica conductora, ya que estas poseen mayor flexibilidad y confort.

Dentro de las características de las fibras conductoras se determina que las fibras de polímeros son cubiertas con largas capas de polypyrrole, cobre u oro (Lieva Van Langenhove C. H., 2012) como material conductor principal. Un claro ejemplo de este tipo de recubrimiento son los filamentos de Kevlar.



**Figura 16:** *Fibras de kevlar con revestimiento de materiales conductores*

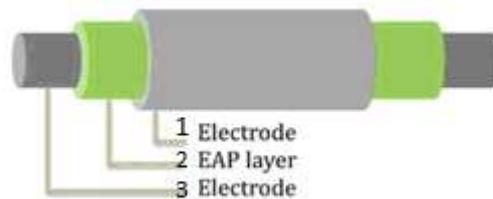
**Fuente:** *(Lieva Van Langenhove C. H., 2012)*

#### **4.2.1.2. Fibras electro activas**

Existe una amplia gama de fibras electro activas una mejor que otra. Dentro del análisis de la literatura se puede indicar que la propiedad conductora de las fibras se presenta en dos formas, la primera se encuentra localizada en su interior en forma de núcleo y la segunda se puede encontrar en la periferia de las fibras en forma de recubrimiento. En su interior actúan los electrodos positivos y negativos repeliéndose, la selección electro activa es una de las funciones principales de las capas ya que determina la funcionalidad de las fibras (Lieva Van Langenhove C. H., 2012). Es así que podemos considerar que las fibras electro activas juegan el mayor rol en el futuro de las textiles inteligentes.

Uno de los primeros ejemplos encontrados describe a un actuador de fibra mecánica la cual se basa en un proceso electroquímico, deduciendo que los polímeros son cargados con aniones y cationes. A los cuales al aplicarles un campo eléctrico, permite que uno de los iones sea expulsado o absorbido, produciéndose en la fibra una hinchazón o contracción (Lieva Van Langenhove C. H., 2012). Podemos deducir que dentro de los sistemas electro-activos, la capa electro conductora es un material di eléctrico por lo que, al aplicar un campo eléctrico este causará cargas opuestas en cada una de las superficies de contacto. Como resultado las

superficies se atraen entre si volviéndose la capa más delgada. Al mismo tiempo, las cargas iguales acumuladas en la superficie se repelen entre sí, produciendo que las superficies se aplanen. La contracción o expansión es muy rápida y completamente reversible. Se necesitan capas de polímeros homogéneas, si la capa electro activa es de material piezoeléctrico, las fibras electro-activas pueden proveer electricidad (Lieva Van Langenhove C. H., 2012).



**Figura 17:** Estructura de una fibra electro-activa.

*1 núcleo conductor. 2 capa de polímero electro-activo (EAP). 3 capa de revestimiento conductor.*

**Fuente:** (Lieva Van Langenhove C. H., 2012)

El agente conductor puede ser, como ya lo mencionamos anteriormente, un metal, aleaciones metálicas o también carbono, podemos expresar que estos materiales pueden estar presentes solos o ser incorporados mediante una resina cuando se trata de un recubrimiento. Si se presenta como núcleo se puede tratar de una mezcla de carbono y polietileno (Guillén, 2000). En virtud de lo citado, podemos decir que la necesidad de crear fibras con propiedades conductoras, se dio por los inconvenientes descritos que presentan las fibras sintéticas, ya que acumulan la electricidad estática produciendo muchas molestias de adherencia a las prendas, fijación de polvo, descargas eléctricas, interferencias eléctricas, entre otros. Es por esa razón que este tipo de materiales se aplica para la elaboración de ropa de trabajo, de protección, blusas, entre otros. Podemos encontrar que sus aplicaciones en la actualidad son más diversas

ya que son utilizadas en la elaboración de textiles muy inteligentes, siendo utilizados como sensores, actuadores y textiles conductores.

A continuación se presenta un ejemplo de este tipo de materiales.

### *Aplicaciones*

#### ➤ **Textronics Inc.**

Es un desarrollador de hilos que permiten resolver el problema de la conductividad de las fibras en la aplicación de Smart textile mediante el uso de cables y hilos recubiertos de metal. Textronics elabora hilos Textro-Yarns®, se caracterizan por la combinación de materiales conductores metálicos con filamentos de licra, lo cual les ha permitido lograr un hilo compuesto que asegura la funcionalidad eléctrica soportando los procesos de hilado y tejido en máquinas convencionales para tejido plano, permitiendo conseguir un tejido con aspecto y tacto normal, con alta conductividad. Entre las aplicaciones que ofrece Textronics podemos encontrar que se utilizan para: la elaboración de ropa de calefacción, electrónica, iluminación, antenas de textiles y blindaje. Una de las ventajas que describe es la de lograr variaciones con esta tecnología para crear nuevos hilos, incorporando fibras funcionales como la fibra óptica, en combinación con los elastómeros (*Textronics, Inc, 2016*).



**Figura 18:** *Textro-Yarns® hilos conductores.*

**Fuente:** (*Textronics, Inc, 2016*).

➤ **Elektrisola Feindraht AG**

Elektrisola Feindraht AG es una compañía suiza que produce monofilamentos metálicos, los cuales se caracterizan por que pueden ser utilizados fácilmente en el proceso de tejeduría y los cuales pueden ser mezclados con todo tipo de fibras. La compañía ofrece una gama de este tipo de materiales textiles, con diferentes propiedades eléctricas según su uso final. Se puede encontrar productos como filamentos de cobre (Cu), filamentos de cobre y plata (Cu/Ag), latón (Ms), filamento de latón y plata (Ms/Ag), filamentos de aluminio (Al), filamentos de aluminio revestidos de cobre (CCA).

*Tabla 1: Propiedades eléctricas de los monofilamentos*

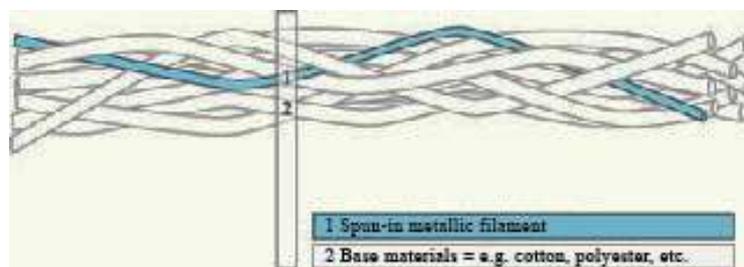
<b>Propiedades eléctricas de los monofilamentos</b>					
<b>Metal</b>	<b>Conductividad [S·m/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistividad [Ω·mm<sup>2</sup>/m]</b>	<b>Coefficiente de resistencia térmica ( 10<sup>-6</sup>)<sup>-1</sup></b>		
			<b>Min</b>	<b>Typ</b>	<b>Max</b>
<b>Cu</b>	58.5	0.0171	3900	3930	4000
<b>Cu/Ag</b>	58.5	0.0171	3900	4100	4300
<b>Ag 99%</b>	62.5	0.0160	3800	3950	4100
<b>Ms * 70</b>	16.0	0.0625	1400	1500	1600
<b>Ms/Ag</b>	16.0	0.0625	1400	1500	1600
<b>AgCu</b>	57.5	0.0174	3800	3950	4100
<b>Bronze</b>	7.5	0.1333	600	650	700

<b>Steel 304</b>	1.4	0.7300		1020	
<b>Steel 316L</b>	1.3	0.7500		1020	

*Denominación alemana Milbe, donde —Msl es acompañado por un número que indica la composición en % Cu con respecto a un complemento de Zn al 100%.*

**Fuente:** (Matteo Stoppa, 2014)

Otro ejemplo es la compañía Swiss-Shield® (Flums, Suiza) especializada en la producción de monofilamentos, los cuales son incorporados a hilos de algodón, olientes, poliamidas y aramidas. Estos filamentos son de metales como el cobre, latón, plata, aluminio (Matteo Stoppa, 2014). Estos se caracterizan ya que los hilos diferentes del metal son el alma base del hilo y el monofilamento de metal con característica conductora se retuerce alrededor del hilo base, como se muestra en la figura 19. Siendo utilizados como monofilamentos para aplicaciones en textiles técnicos para militares, textiles hogar y ropa.



**Figura 19:** Monofilamento metálico

*Un monofilamento metálico gossamer-delgada, integrada da a tela de Swiss Shield® su efecto protector. 1 hilado de filamento metálico. 2 base de materiales como algodón, poliéster, etc.*

**Fuente:** (Swiss Shield® yarns, 2016)

#### 4.2.1.3. Fibras ópticas

La fibra óptica en cambio es utilizada como sensores y actuadores, se puede decir que este tipo de fibras se encuentran dentro del sustrato textil, pudiendo considerarse como uno de los materiales textiles más importantes para el desarrollo de textiles muy inteligentes. En el

campo textil la fibra óptica según Lieva Van Langenhove se encuentra tres mecanismos de aplicación como son: el cambio de color, la ley de Snell o la ley de Bragg (Lieva Van Langenhove C. H., 2012).

Una de las características importantes que toma en cuenta de las fibras ópticas, es la pérdida de decibelios (dB), que es considerada como la cantidad o coeficiente logarítmico que expresa la relación entre dos valores deferentes de poder que pueden ser potencia o voltaje, representando una ganancia o pérdida, siendo su unidad de medida los decibelios por kilómetros( dB/Km)(Tao, 2015). Se puede observar que las investigaciones se han enfocado en el desarrollo de fibras ópticas con la menor cantidad de decibelios.

Actualmente las fibras ópticas han tenido un proceso de evolución, empleando nuevos materiales flexibles y siendo aceptadas en el mercado con bajos costos, la literatura muestra que en 1981 el precio de la fibra de vidrio era de 5\$ por metro, siendo un precio alto y que actualmente encontramos en el mercado a un precio de 10 centavos de dólar por metro, por lo que está al alcance de todos (Tao, 2015). Se puede identificar dos grupos de este tipo de materiales textiles con diversas áreas de aplicación, como son:



*Ilustración 7: Tipos de fibras ópticas*

*Fuente: (Tao, 2015)*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

Pero antes describiremos los mecanismos de funcionamiento encontrados en la literatura.

### **Mecanismos de las fibras ópticas**

Uno de los mecanismos encontrados que son aplicables a las fibras ópticas tanto de vidrio como las poliméricas son los sistemas de transmisión de luz por reflexión total.

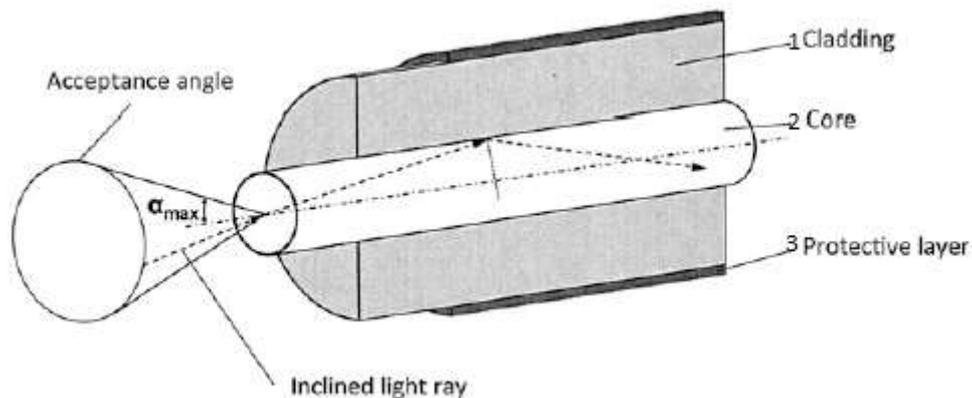
➤ **Transición de luz por refracción total**

Este mecanismo describe que la refracción de luz total se da cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro medio ópticamente diferente, produciendo que esa luz sea refractada y reflejada. El índice de refracción ( $n_{medio}$ ) va a depender del tipo del material y del medio, en donde según Albert Einstein para los materiales normales el índice de refracción es mayor que 1 (Tao, 2015), y describe la relación de velocidad de la luz en el vacío con la velocidad de propagación de la luz en el medio.

La reflexión total también puede ser descrita mediante la ley de Snell, la cual explica que la reflexión total puede producirse sobre el ángulo crítico, en donde la transición de luz total se produce en un material ópticamente más denso que en uno más fino (Tao, 2015). Esto quiere decir que mientras más finas las fibras sean, es más complicado que se produzca la reflexión de luz, por lo que dependerá de la densidad de la fibra. Dentro de este mecanismo, se puede identificar que existen dos tipos de fibras ópticas como son, las fibras de paso-índice y las fibras de perfil refractivo.

*a) Fibras de paso índice*

La literatura determina que las fibras de paso índice son las más utilizadas, ya que se caracteriza por tener una estructura de envoltura como base que puede ser cristal, y con una sección transversal circular. El sistema describe que la luz se guía a través de núcleo, el cual está compuesto de un tipo de vidrio con un índice de refracción ligeramente mayor al del revestimiento (Tao, 2015). Además de la estructura de revestimiento describe que la fibra es cubierta con una capa protectora, para brindar mayor seguridad al núcleo ya que la luz debe reflejarse en el interfaz de la estructura de la envoltura.

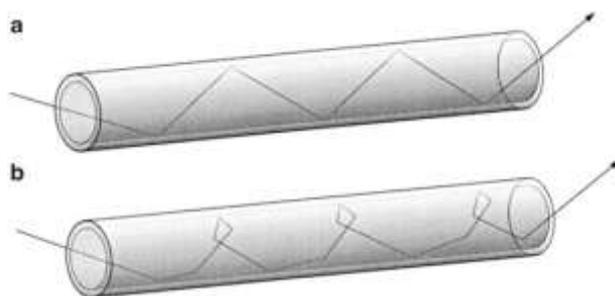


**Figura 20:** Fibra de paso de índice

“Principio de apertura y de propagación de la luz en una fibra óptica que posee una estructura de envoltura de la base” Partes de una fibra óptica, 1) revestimiento, 2) núcleo, 3) capa protectora.

**Fuente:**(Tao, 2015).

Tao recalca la importancia de considerar el NA (apertura numérica) entre la estructura de la envoltura base y el material del núcleo (Tao, 2015) ya que el aumento y disminución del NA cambia las propiedades de las fibras, un aumento del NA proporciona a las fibras mayor flexibilidad, pero un aumento de las pérdidas (dB/Km) de la transmisión de luz. El valor típico de NA de las fibras ópticas mono-modo es de 0,11, mientras que las fibras ópticas multi-modo de vidrio tienen un rango de 0,2(Tao, 2015).



**Figura 21:** Propagación de la luz en la fibra de paso de índice.

Propagación de la luz a través de una viga a) en forma meridional, b) en forma helicoidal

**Fuente:** (Tao, 2015).

Dentro del estudio de las fibras ópticas, los términos modo y dispersión de modos son muy frecuente. Los cuales hacen referencia a la radiación entrante en la fibra con diferentes ángulos de incidencia. Podemos decir que el ángulo de incidencia del núcleo debe ser constante ya que el tiempo de transición de la luz puede variar, si se presentan diferentes caminos de luz, lo que se conoce como dispersión de modo, estos efectos provocan una ampliación de los impulsos o una reducción de la capacidad de transmisión de la luz. Y si son demasiado rápidos no se puede distinguir los impulsos.

***b) Fibras en función del perfil de índice de refracción***

Este sistema se describe como un perfil especial con un índice de refracción en función del radio de la fibra que puede ser calculado con la finalidad de minimizar y prevenir la dispersión de modo, evitando que esta disminuya o aumente (Tao, 2015). Logrando así un óptimo perfil parabólico, que permita una correcta transmisión de luz a través de la fibra.

**4.2.1.4. Fibras ópticas de vidrio**

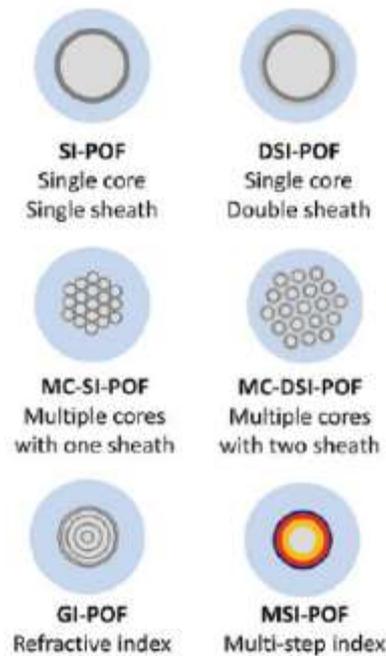
Se considera que en 1960 las fibras de vidrio ya fueron capaces de transmitir luz, pero con grandes pérdidas. Siendo en 1966 en el Reino Unido K. C. Kao y G. A. Hockham quienes implementaron las primeras fibras de vidrio con pérdidas de menos 100 dB/Km. En 1970, la fibras de vidrio presenta pérdidas de menos de 20 dB/Km (Tao, 2015). Se puede decir que con el tiempo y la tecnología las fibras de vidrio se han ido perfeccionando, por lo que podemos encontrar actualmente en el mercado fibras ópticas de vidrio que emplean cristal de cuarzo, con un límite inferior de pérdida de 0,2 dB/Km. El desarrollo de la fibra óptica de vidrio ha beneficiado tanto a la industria textil como a la industria de las telecomunicaciones.

Se considera que la fibra de vidrio es uno de los materiales sintéticos más antiguos que para su fabricación se utiliza el virio de sílice. Estas fibras ópticas se han fabricado con un rango de diámetro de entre 70 a 500  $\mu\text{m}$  y poseen resistencia mínima (Tao, 2015). Este tipo de fibras ópticas se caracterizan por tener dos recubrimientos en donde la primera capa inferior es suave y elástica, brindándole la propiedad flexibilidad a la fibra óptica, mientras que la segunda capa superior se caracteriza por ser rígida y resistente a la abrasión, protegiendo a la fibra de fuerzas mecánicas y químicas.

#### **4.2.1.5. Fibras ópticas de polímero**

Podemos encontrar que una de las primeras empresas en dedicarse al desarrollo de fibras ópticas a base de polímero es DuPont. En el año de 1963, DuPont desarrollo la primera fibra óptica a base de polímero, la cual presentaba un índice de 1000 dB/km como perdida, por lo que no impacto demasiado en el mercado. Actualmente presentan un índice teórico aceptable de 125 dB/km (Tao, 2015). Actualmente el mercado ha tenido una demanda de este tipo de fibras, ya que son utilizadas no solo en el campo textil sino también en los sistemas de comunicación de transición potente a corta distancia.

Se considera que la primera fibra óptica a base de polímero, está compuesto por un núcleo homogéneo, la cual se encuentra rodeada de un revestimiento óptico único conocido como SI-POF, como se muestra en la figura 22. Una de las características a suponer en este tipo de fibras ópticas a base de polímeros es la NA (apertura numérica), la cual describe la gama de ángulos por los cuales se transmitía la luz, la cual es incidente a lo largo de la fibra. El valor estándar del NA es de 0,5. Hoy en día existen fibras ópticas de polímero con algunas modificaciones en la envoltura de la base como se observa en la figura 22. (Tao, 2015).



**Figura 22:** Estructuras de diferentes fibras ópticas

**Fuente:** (Tao, 2015).

### ➤ Propiedades de las fibras ópticas de polímeros

Se considera que los polímeros termoplásticos amorfos suelen ser vasos frágiles, ya que su viscosidad aumenta con la disminución de temperatura y que la capacidad de estiramiento depende de la temperatura de fabricación. Si los polímeros presentan micro fisuras, roturas, cuerpos extraños, defectos en la superficie, afecta negativamente a la transparencia de las fibras de polímeros. Podemos decir, que las fibras de polímero son aceptadas por sus propiedades de rendimiento y costo, pero poseen alta atenuación, por lo que son utilizadas como sensores, cables de sensores o elementos de iluminación (Tao, 2015).

Se ha observado que la integración de fibras ópticas en el tejido, se presenta como un grande desafío, por lo que se considera importante el uso de la mejor tecnología de tejido disponible. Pero su incorporación a un tejido no es un imposible, ya que se pueden incorporar de distintas maneras, ya sea en un tejido plano, en tejido de punto por trama, o aplicando métodos de bordados. Dentro de los proceso de tejeduría hay que considerar la flexibilidad y

el estrés mecánico al cual son sometidos generalmente los hilos. En un telar plano, los hilos de urdimbre son sometidos a mayor esfuerzo y estrés mecánico, por lo que Tao recomienda aplicar las fibras ópticas como hilos de trama, evitando que sufran un menor maltrato y la rotura de las fibras ópticas. Dentro de estos procesos hay que tener muy en cuenta el diámetro de la fibra óptica, por ejemplo una fibra óptica de diámetro de 250  $\mu\text{m}$  se obtiene una estructura fina y ligera, que ofrece posibilidades de diseño 2D múltiples (Tao, 2015). Podemos señalar que la densidad del tejido (número de hilos por cm), el patrón del tejido y el diámetro de la fibra, influyen directamente en la flexibilidad del tejido, y hay que jugar con estos factores para obtener un tejido de calidad. Si tenemos fibras de menor diámetro, obtendremos tejidos con menor intensidad luminosa, las fibras gruesas provocan inflexibilidad, mientras que un tejido abierto aumenta la flexibilidad del tejido y el factor de doblado de un tejido con fibra óptica (Tao, 2015). La tejedura de fibras ópticas se emplea para decoración de interiores. Mientras que la aplicación de las fibras ópticas sobre el tejido mediante el bordado, aumenta la creatividad de una mayor gama de diseños.

#### **4.2.1.6. Material de cambio de fase o PCM**

Gracias al desarrollo e investigación realizado por la NASA, el cual desarrollaron del proyecto de investigación en los conocidos materiales de cambio de fase. Podemos decir que es en donde se identificó varios cientos de PCM, los cuales algunos de ellos se los utilizan en sistemas avanzados para controlar y administrar energía calorífica. En los textiles se los utiliza para mantener el microclima cercano a la piel con un rango de temperatura de las diferentes partes del cuerpo. (Guillén, 2000) Los hidrocarburos saturados son un ejemplo de materiales de cambio de fase capaces de actuar en un rango de (18,5-36,1  $^{\circ}\text{C}$ ). La capacidad de aislamiento del material depende de la cantidad de PCM a utilizar y la capacidad de calor latente. Estos materiales PCM actúan en el interior de un recipiente que los contiene, por lo que deben ser micro encapsulados tomando en cuenta el tamaño y uniformidad de la

partícula, la estabilidad a la acción mecánica y a los productos químicos y la relación espesor núcleo-corteza (Guillén, 2000). Este tipo de PMS son aplicados en prendas de confort térmico, la cual consiste en la utilización de parafinas que van relacionada con la temperatura determinada de cierta parte del cuerpo. Las fibras y los tejidos son los encargados de absorber, almacenar y liberar el calor.

De acuerdo con la literatura podemos decir que dentro del proceso de fabricación las microcapsulas son incorporadas en las fibras o filamentos. Considerando el número y el tamaño de la partícula ya que si las partículas son demasiado grandes y en gran porcentaje, las fibras tienden a perder sus propiedades de flexibilidad, tendiendo a la rotura (Guillén, 2000).

Un ejemplo de este tipo de materiales nos presentan Allied Colloids y Acordis incorporaron micro capsulas Outlast con capacidad térmica, durante el proceso de fabricación de una fibra acrílica denominada Courtelle (Guillén, 2000), brindándole la capacidad de acumular calor que no disminuye con la presencia de humedad. Esta fibra es empleada para la elaboración de prendas deportivas, chaquetas, sombreros, prendas íntimas, guantes botas, entre otros.

También se han desarrollado materiales de cambio de forma como los SMM que son capaces de sentir los diferentes cambios físicos como temperatura, acción mecánica, acción magnética o eléctrica. El SMM se caracteriza principalmente por transformar la energía térmica en trabajo mecánico (Sweden, 2010). Podemos expresar que este tipo de materiales se desarrollaron con aplicaciones en la industria biomédica e ingeniería textil. Se emplean derivados como SMA para camisetas que no necesiten planchado. SMM con aleación NiTi utilizado como un aislamiento en chaquetas de invierno. Se emplean en telas inteligentes con aplicación en biomedicina para tendones, cornea y hueso, articulaciones artificiales, ortodoncia y apósitos para heridas. También se han aplicado a productos higiénicos desechables como pañales y productos para el cuidado femenino. Los polímeros de la

memoria de la forma PMS son materiales poliméricos inteligentes que cambian de forma en presencia de temperatura externa. Estos tiene la ventaja de tener menor peso, menor costo, se puede usar como material de utilería y su gran capacidad de recuperación (Sweden, 2010).

#### **4.2.1.7. Materiales nanotecnológicos**

##### **➤ La nanotecnología en lo textiles de tercera generación.**

La nano tecnología ha revolucionado los textiles inteligentes, generando un gran potencial de desarrollo y aplicaciones, creando nuevos materiales textiles, fibras y acabados. Con la revisión de varios artículos podemos encontrar que la innovación de la nano tecnología se presenta en la industria textil, entre los más conocidos, con el desarrollo de nuevos polímeros (nano fibras), incorporación de nanotubos de carbono, nano revestimientos antimicrobianos, entre otros. Podemos decir que para los textiles ultra inteligentes han sido la base esencial para la creación de redes de sensores incorporados en el material textil, para la detección, actuación, control y transmisión de datos de forma inalámbrica. Permitiendo una interacción entre el usuario y el entorno mediante un monitoreo inofensivo, obteniendo información actualizada del individuo, ya sea en salud o peligros ambientales (Shirley Coye, 2007 ). Además podemos deducir que los nano textiles presentan numerosas aplicaciones como la salud, deportes, aplicaciones militares y en la moda.

##### **➤ Nano materiales**

Es importante entender que es un nano material para lo cual se considera como un nano material, aquellos componentes estructurales que están definidos en un rango de tamaño de 1 a 100 nanómetros, por lo menos en una dimensión. Actualmente podemos deducir que a los materiales textiles de tamaño normal, se les puede incorporar nano partículas, las cuales son consideradas como un subconjunto de los nano-materiales que se presentan en las tres dimensiones. Es así, que se considera a los textiles inteligentes de tercera generación, capaces

de incorporar aplicaciones de ingeniería, nano tecnología y nano materiales (recomendación de la Comisión de 18/10/2011 para la definición de nano materiales 2011/696/CE) (Umwelt Bundes Amt , 2013).

Podemos determinar que el objetivo de la aplicación de nano materiales es la integración de los elementos como, sensores, actuadores y unidades de control, para la detección de datos y procesos de ingeniería textil, conservando las propiedades del textil y prendas de vestir, su flexibilidad, tacto, durabilidad, resistencia a la fricción, al lavado, entre otros, ya que la aplicación superpuesta de los elementos tecnológicos en el sustrato textil, presentan dificultades de conexión, volumen, resistencia al desgaste y al lavado (Shirley Coye, 2007 ). Razón a considerar y determinar que la nano-tecnología es un factor importante para el desarrollo de textiles muy inteligentes.

El desarrollo de fibras sintéticas amplio el campo de aplicación de los nanos materiales, en la creación de nano materiales textiles como:

- Lycra®
- fibras de urea de poliuretano segmentado
- Kevlar®
- Poli-para-fenileno

Estas se caracterizan por las propiedades de altísima resistencia que son utilizadas en la fabricación del chaleco antibalas (Shirley Coye, 2007 ).

La integración de nano partículas en los textiles es bien conocida para materiales termo-reguladores. Pero para materiales de tercera generación, se puede decir que, los materiales adecuados son inherentemente polímeros conductores (CIP), nanotubos de carbono (CNTs), nano-fibras y nano partículas integradas a los materiales textiles como en filamentos (Shirley Coye, 2007 ). De acuerdo con la literatura se describe que los nano materiales incorporados

con más frecuencia son la plata, dióxido de silicio, dióxido de titanio, óxido de zinc, óxido de aluminio, nano arcilla (montmorillonite), nano tubos de carbono, negro de carbono. (Umwelt Bundes Amt , 2013). Además de la capacidad conductora de las fibras, se pueden conseguir otras propiedades que permiten actuar a las fibras como materiales activos como se muestra en la tabla 2.

*Tabla 2: Nano materiales y sus propiedades en los nano-textiles*

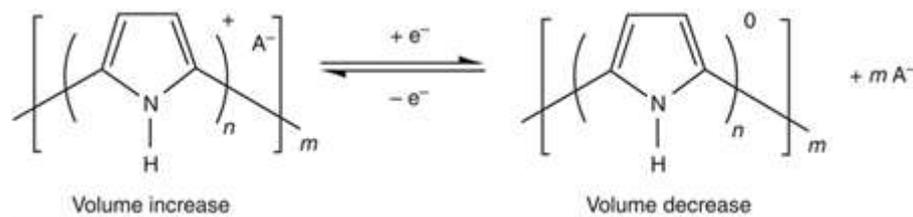
<b>PROPIEDADES DE NANO-TEXTILES</b>	<b>NANO MATERIALES</b>
Electro conductividad/ antiestático	Carbón negro Nanotubos de carbono (CNT) cobre Polypyrrol
Incremento de durabilidad	Óxido de aluminio CNT (nanotubos de carbono) Polybutil acrilate Dióxido de silicio Óxido de zinc
Antimicrobiano	Plata Quitosano Dióxido de titanio Dióxido de silicio Dióxido de zinc
Auto limpieza/ repelencia a la suciedad y al agua.	CNT (nanotubos de carbono) Dióxido de silicio Fluoroacrilato El dióxido de titanio (anatasa)
Humedad -absorbente	Dióxido de titanio
Mejora la capacidad de teñido	Carbón negro Recubrimiento de hidrocarbano-nano poros de nitrógeno

	Dióxido de silicio
Protección UV, protección a la decoloración	Dióxido de titanio Dióxido de zinc (Rutilio)
Resistencia al fuego	CNT (nanotubos de carbono) Boroxosiloxano Montmorillonita (arcilla a escala nanométrica) Cenizas de antimonio
La liberación controlada de ingredientes activos, productos farmacéuticos, o fragancias.	Cuerpos huecos nano-estructurados ( por ejemplo base de ciclodextrina) Montmorillonita (arcilla a nano escala) Dióxido de silicio.
Conductora de calor o propiedades aislantes	CNT (nanotubos de carbono) Dióxido de vanadio
Blindaje contra la radiación electromagnética ( IR / micro radiación /ondas de radio)	Oxido de indio y titanio
Resistencia a la abrasión	CNT (nanotubos de carbono)

**Fuente:** (Umwelt Bundes Amt , 2013)

**Elaborado por:** Lisseth Pambaquishpe

Una de las innovaciones más interesantes encontrada en la literatura es que, la nanotecnología ha permitido la modificación estructural de las fibras sintéticas, generando un efecto conductor anti estático, mediante la incorporación de iones con activación electroquímica de polímeros (CIPS), o como el polypyrrole (PPY) dopado de un anión móvil intrincadamente conductor. La incorporación de iones permite el aumento del volumen total de polímero, mientras que la exclusión de iones, resulta en la disminución del volumen total del polímero (Shirley Coye, 2007 ). De esta manera la fibra obtiene una capacidad sensorial.



**Figura 23:** Reacción química CIPS

Reacción química que representa la incorporación y exclusión de los iones del dopant en activación electroquímica de polímeros (CIPS), La incorporación y exclusión de los iones del dopant resulta en un aumento o disminución en el volumen total de polímero, mientras que. Aniones A- representa incorporadas el PPY durante síntesis,  $n$  es el número de unidades de pirrol para cada A – incorporado y  $m \neq n$  es el número de unidades repetidas de PPY que determina el peso molecular del polímero

**Fuente:** (Shirley Coye, 2007 ).

Podemos decir que la nano-tecnología ha ayudado al desarrollo de nuevas fibras con propiedades mejoradas, mediante la incorporación de nano-componentes tales como nano-partículas, nano-fibras de grafito y CNTs. Se puede expresar que el proceso consiste en llenadores a nano escala mediante la formación de espuma incorporados en el volumen de la fibra mediante electro-spinning y la aplicación a través de acabados químicos de recubrimiento, como por ejemplo, la adición de una capa de aerosol de  $TiO_2$  para materiales de protección biológicos (Shirley Coye, 2007 ).

Cuando se trata de aplicación de nano-materiales en las fibras textiles, hay que tomar muy en cuenta que estos no se deben liberar, ya que generen riesgos potenciales en la salud del ser humano y el medio ambiente (Umwelt Bundes Amt , 2013). Es por eso que hay que tomar en cuenta los siguientes factores.

- El sitio de integración en la estructura de la fibra sea en el núcleo de la fibra o la capa externa de la fibra.

- Hay que considerar el tipo y fuerza de unión entre la fibra y el nano material (puede ser por enlace covalente)
- Propiedades de resistencia a la abrasión y flexibilidad de la capa textil.

(Umwelt Bundes Amt , 2013). Podemos expresar que es importante considerar la cantidad de nano material liberado en el medio ambiente y en el cuerpo humano durante el ciclo de vida de la prenda textil.

En conclusión entre las aplicaciones de estos nano-materiales textiles se encuentra el desarrollo de cables conductores, la fabricación de nano-sensores y nano generadores de energía, aplicados en la salud, deporte, entre otros. Un ejemplo claro es la Nike que ha desarrollado una zapatilla inteligente que contiene un sensor inalámbrico que se conecta a un iPod, permitiendo obtener información de la distancia recorrida, tiempo, ritmo y calorías quemadas (Shirley Coye, 2007 ). En el campo de deporte el usos de nano materiales en sensores son utilizados para mejorar el rendimiento de los atletas en diferentes campos deportivos, ya sea natación, atletismo, entre otros.

#### **4.2.2. Sensores**

Xiaoming Tao (2015) ilustra los logros impresionantes que en la actualidad ha destacado a los textiles muy inteligentes en el área de tecnología. Basado en los principios fundamentales ya mencionados, describiremos a continuación los logros en cada una de las áreas.

Podemos decir que los sensores a base de materiales textiles, se encuentran en una amplia gama, siendo ya disponibles algunos en el mercado, así como también podemos encontrar que muchos están en etapa de prototipo.

De acuerdo con el análisis realizado, los sensores se basan practicante en el empleo de materiales con capacidad conductora, los cuales pueden ser fibras ópticas, nano-fibras con nanotubos de carbono, y fibras con partículas conductoras, entre otras. Actualmente son las

fibras ópticas las que se han destacado en la fabricación de sensores de material textil con diferentes aplicaciones.

La literatura nos revela que los primeros sensores se basan en mediciones electromagnéticas, los cuales se han utilizado en tejidos conductores con aplicación médica, permitiendo monitorear el ritmo cardiaco, proyecto destacado por My Heart. La Unión Europea ha desarrollado también sensores denominados EMG, los cuales se aplican sobre el material textil, mediante el bordado y laminación. Estos permiten controlar el estrés, así como sensores de presión piezo-resistivo los cuales indican la tarifa de respiración o movimiento (Langenhove, 2015).

Podemos decir, que las estructuras textiles inteligentes se pueden considerar como sensores al tomar en cuenta los siguientes mecanismos:



**Ilustración 8:** *mecanismos de sensores dentro de los textiles inteligentes de tercera generación.*

**Fuente:** (Langenhove, 2015).

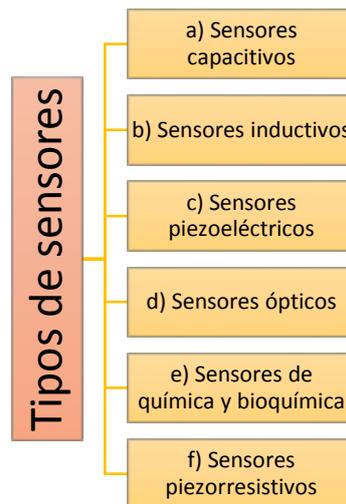
**Elaborado por:** *Liseth Pambaquishpe*

Se considera que la ropa es uno de los mecanismos o sistema capaz de proporcionar la mejor plataforma de información del cuerpo humano, esto se logra, ya que los sensores se pueden concentrar en el espacio cercano al cuerpo y ser capaz de actuar como una interfaz entre el usuario y un sistema de información y electrónica. Esto se logra mediante la conversión humana fisiológica y ambiental dentro o alrededor del cuerpo humano, u otro tipo de señales que los sensores sean capaces de receptar y convertirlas en señales eléctricas medibles (Ghosh, 2015).

Los sensores son considerados como transductores capaces de convertir las formas mecánicas, químicas, ópticas y otros estímulos en señales de salida eléctricas o voltajes medibles tanto en el macro y micro entorno del espacio cercano y lejano del cuerpo humano. Por esta razón, es esencial considerar la sensibilidad del sensor como una característica importante, de manera que tanto los materiales textiles y el sistema de sensor deben ser compatibles con el cuerpo humano y el entorno (Ghosh, 2015). Es por eso que hay que considerar el tipo de sensor a usar dependiente de la funcionalidad final del textil.

#### **4.2.2.1. Tipos de sensores**

Podemos encontrar diferentes tipos de sensores como son sensores de contacto o sin contacto, sensores absolutos o relativos, sensores activos o pasivos, pero la clasificación más útil se basa en el principio de detección, los cuales son:



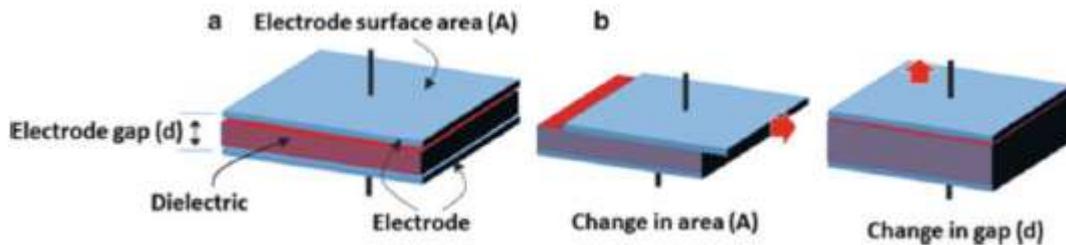
*Ilustración 9: tipos de sensores aplicados en los textiles de tercera generación.*

*Fuente:* (Ghosh, 2015).

*Elaborado por:* Lisseth Pambaquishpe

A continuación se describirá brevemente cada uno de estos sensores y su participación en los materiales textiles inteligentes.

- a) Sensores capacitivos.-** el principio de los sensores capacitivos son ampliamente utilizados en los materiales textiles. Podemos describir que son capaces de detectar la proximidad, posición, flujo, presión y grueso (masa). Su principio se basa en condensadores, los cuales constan de un par de placas capacitivas separadas por un medio dieléctrico. Por consiguiente un sensor capacitivo textil consiste en un polímero como material dieléctrico, este polímero puede ser un tejido separador 3D, espumas poliméricas, entre otras, y como placas capacitivas textiles, se puede decir, el mecanismo emplea electrodos en la superficie de los textiles, los cuales se encuentran fabricados de muchas maneras, ya sea utilizando técnicas de tejido, de bordado o mediante impresiones. En la fig. 23 se muestra un sensor textil inteligente.



**Figura 24:** Diagramas esquemáticos de un sensor

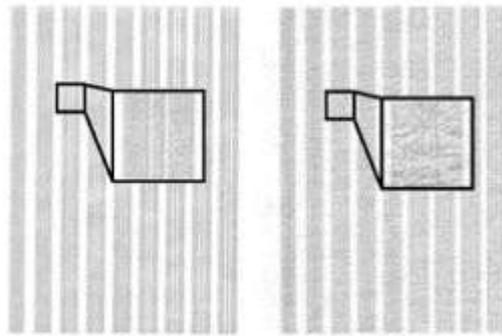
(a) placas paralelas, (b) sensores capacitivos basados en la variación del área y espacio, (A) área de superficie del electrodo (d) espacio del electrodo.

**Fuente:** (Ghosh, 2015).

El principio del mecanismo describe el movimiento de los electrodos a lo largo del plano el cual conduce al cambio en el área activa de los electrodos y capacitancia. Estos mecanismos de sensores capacitivos son fáciles de integrar a la estructura textil debido al uso de varias capas. Sin embargo pueden ser influenciados por los cambios dieléctricos del entorno como la humedad, por lo que se sugiere que el área de espacio sea mínimo para la capacidad de detección (Ghosh, 2015). Podemos decir que los sensores capacitivos permiten detectar a través del tacto, la proximidad, presión, actividad y movimiento del musculo y postura del cuerpo. Además permite el monitoreo fisiológico asistencial, ayuda a la vigilancia, diagnóstico y rehabilitación, control de la respiración, monitoreo de la actividad humana y monitoreo de parámetros ambientales.

Como ejemplos podemos encontrar diferentes propuestas literarias como son: sensores capaces de controlar los repetidos ciclos de expansión y contracción de respiración, los cuales están basados en placas de condensador conductoras a base electrodos impresos en tinta de plata (Ghosh, 2015). Donde el electrodo es a base de dos sustratos no tejidos, en donde el primero, consiste en una capa de transductor y una capa de suelo, y el segundo sustrato una capa con componentes eléctricos para el recorrido de la señal. Con capacidad de soportar 50

ciclos de lavados, aun se espera que sus características técnicas mejoren, como comodidad, flexibilidad y suavidad (Tae-Ho Kang, 2006).



**Figura 25:** Muestra material impreso

Muestra material impreso de CPWs sobre sustratos no tejidos Tyvek® (izquierda) y Evolon® (derecha).

**Fuente:** (Tae-Ho Kang, 2006).

Se han encontrado sensores que se han utilizado para derivar información relacionada a la actividad humana, como la masticación, deglución, habla, entre otros. Una de las literaturas describe un sistema de parches de electrodos textil se coloca en las diferentes partes del cuerpo, ya sean cuello, pecho, muñeca, piernas y brazos. Demostrado que tiene un gran potencial de aplicación en el cuidado de la salud e investigaciones biomédicas (Jingyuan Cheng, 2010).



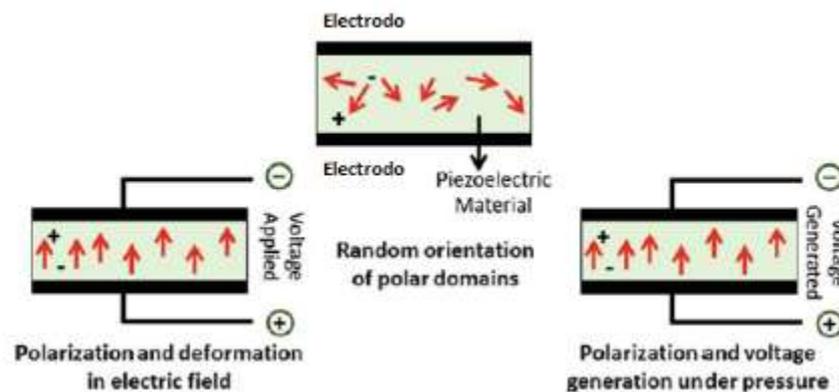
**Figura 26:** configuraciones de diferentes sensores en el pecho, muñeca y cuello.

**Fuente:** (Jingyuan Cheng, 2010).

También se han encontrado sensores de humedad capacitivos para determinar la tasa de sudor del cuerpo humano.

- b) Sensores inductivos.**- los sensores inductivos son capaces de emitir campos electromagnéticos, los materiales metálicos son capaces de alterar el campo electromagnético de la bobina de inducción, que al momento de analizar la inductancia se puede monitorear la posición y la proximidad del objeto metálico. Los sensores inductivos basados en textiles son limitadas (Ghosh, 2015). En la literatura se puede identificar que este tipo de sensores son aplicados a los materiales textiles, mediante el tejido y bordado, los cuales utilizan materiales como el cobre, alambres magnéticos, materiales conductores por medio de impresión. Siendo utilizados para el monitoreo fisiológico asistencial, monitoreo de la respiración, la presión arterial y el movimiento. Hay que considerar que los sensores inductivos no son afectados por las propiedades dieléctricas del entorno, pero son influenciados por los campos magnéticos externos, pero son de gran importancia debido a su sensibilidad de respuesta (Ghosh, 2015).
- c) Sensores piezoeléctricos.**- los sensores piezoeléctricos se utilizan para determinar la presión, aceleración, fuerza o tensión. Se caracterizan ya que pueden generar un potencial eléctrico cuando se le aplica una tensión mecánica, deformándose cuando se les aplica un campo eléctrico. En el campo textil son de gran importancia debido a su potencial de aplicación como son: capacidad de controlar el estrés o tensión, además de tener un bajo costo y de consumir poca energía (Ghosh, 2015). Se puede determinar que se han empleado esfuerzos en el desarrollo de materiales textiles aplicados como sensores piezoeléctricos, uno de los materiales más usados para la fabricación de sensores piezoeléctricos textiles es el fluoruro de polivinilideno (PVDF), también podemos encontrar copolímeros como poli fluoruro de vinilideno-tricloroetileno (PVDF TrFE) y sus compuestos. Los métodos empleados para la fabricación de estos sensores son mediante fibras las cuales incorporan revestimiento

PDVF y electro-spun de fibras de PDVF TrFE aplicado en los diseños de tejido con nano tubos de carbono permitiendo medir la tensión. Este tipo de materiales describe como ventaja la facilidad de usarse en hilo o tejidos, siendo incorporados en la tapicería de asientos de coche, para determinar la presión en el asiento. También se han empleado en el diseño de guantes eléctricos donde los sensores piezoeléctricos en forma de película son colocados en lugares claves del guante permitiendo detectar el movimiento de las manos y la flexión de los dedos con el fin de usarlo como un teclado funcional (Ghosh, 2015). Se puede expresar que los sensores a base de PVDF TrFE se han utilizado para analizar señales fisiológicas relacionadas con la salud, estabilidad de marcha y cardio respiratorio, así como es utilizado para detectar la frecuencia del corazón y los movimientos relacionados con la respiración.

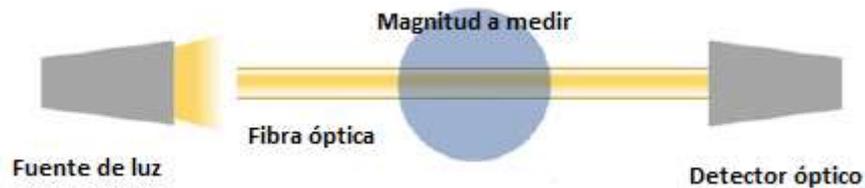


**Figura 27:** Orientación aleatoria de los dominios polares de un sensor textil inteligente.

Representación gráfica del mecanismo de un sensor piezoeléctrico, donde los electrodos del material piezoeléctrico se orientan al aplicar un voltaje determinado, generando un voltaje por la presión aplicada.

**Fuente:** (Ghosh, 2015).

- d) Sensores ópticos.-** los sensores ópticos se describen como aquellos que miden el cambio de intensidad, fase, polarización o longitud de onda en uno o más haces de luz debido a la exposición de las magnitudes sometidas a medición como se muestra en la figura 28.



**Figura 28:** Principio de operación de un sensor óptico.

**Fuente:** (Ghosh, 2015).

Se deduce que su aplicación como sensor es amplia, ya que se puede aplicar para la detección de temperatura, presión, tensión y gas. Los materiales usados para aplicaciones en textiles inteligentes son a base de fibras poliméricas, lo que permiten ser integradas en los tejidos planos, de punto, y no tejidos. Siendo las más usadas debido a su fácil aplicación, las fibras Macro-flexión, rejillas de Bragg y sensores de reflectometría de tiempo, de acuerdo con la literatura de Ghosh (2015), la mayoría de fibras ópticas, independientemente del tipo que sea, son utilizadas para la detección de presión y tensión. En otras aplicaciones se las utiliza para la vigilancia de la salud, para evaluar el movimiento respiratorio abdominal y torácico de pacientes anestesiados durante la proyección de imagen de resonancia magnética, además la literatura indica que este tipo de sensores presentan muchas ventajas como:

- Excelente transmisión
- Capacidad de multiplexación
- Amplio rango dinámico
- Gran ancho de banda
- Falta de sensibilidad a elementos eléctricos y químicos
- Falta de sensibilidad a cambios de temperatura

Además, los primeros materiales con función sensorial fueron las fibras ópticas, las cuales presentan gran flexibilidad. Actualmente tienen una gran demanda debido a sus variadas aplicaciones. Las fibras ópticas como material textil sensor son dispositivos que permiten la

evaluación de magnitudes sometidas a medición física y medición de concentraciones de especies químicas. Su función principal es medir los cambios en la entrada y la salida de la luz, representada en las pérdidas dB/Km (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).

➤ **Tipo de sensores de fibra óptica**

Como aplicaciones textiles se pueden identificar diferentes tipos de sensores de fibra óptica, según las magnitudes sometidas a evaluar. Estos son:

- a. **Sensores de temperatura.-** Un ejemplo de sensor óptico de temperatura es la fibra de Bragg (FBG) utilizado para evaluar el microclima y la adquisición de temperatura corporal (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015). Con la característica de que la FBG no se aplica directamente sobre el cuerpo, si no separado por un espacio de aire entre la piel t la ropa. Para que la fibra de Bragg se más eficiente en aplicaciones de sensores textiles, se ha combinado con otros materiales poliméricos.
- b. **Sensores de tensión.-** Son utilizados para la medición de tensión o estrés, aplicados en la supervisión de la construcción, geotecnia, medicina y bienestar, así como también en el control de procesos industriales, medicina dental, prevención de úlceras, salud estructural en pozos de petróleo y plantas de energía. Siendo la fibra óptica de Brillouin (BOTDA) la más aplicada en geotecnia textil (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).
- c. **Sensores de humedad.-** El control del nivel de humedad sea absoluta o relativa se ha logrado gracias a los sensores de fibra óptica. La FBG también es capaz de detectar el nivel de humedad relativa de manera que capas de fibra óptica absorbe la humedad generando un hinchamiento expandiéndose la fibra en volumen, así

aplicando tensión sobre la rejilla FBG, permite los cambios de longitud de onda de resonancia, calculando la humedad en función de la tensión (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).

- d. Sensores de presión.-** Ya en la actualidad se presentan empresas con aplicación de fibras ópticas para sensores de presión, una de ellas es la empresa Suiza EMPA, la cual ha desarrollado fibras ópticas flexibles de silicona aplicadas en la estructura del tejido con diferentes patrones y estructuras.

Otras investigaciones presentan sensores a base de fibras ópticas basada en tecnología de interferometría de Fabry-Perot las cuales tiene la capacidad de captar los cambios de transición de la presión dinámica durante una explosión (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).

- e. Sensores de análisis cinemático y de movimiento.-** Los sensores de movimiento y el análisis cinemático tienen impacto en la medicina, fisioterapia, rehabilitación, deporte, entre otras. Este tipo de sensores textiles han sido aplicados en enfermedades relacionadas con la columna vertebral.
- f. Sensor de control de respiración.-** El monitoreo de la respiración y la actividad cardíaca es uno de los campos más investigados y de aplicación de sensores textiles, lo que lleva en la actualidad a diversas investigaciones en esta área, muchos de ellos prometen gran eficacia. Pero en la actualidad todos ellos siguen en proceso de investigación y mejoramiento. Podemos mencionar algunos proyectos de investigación como el de OFSETH, el cual aplica una fibra óptica completamente desnuda, integrada en un tejido, que asegura la medición de movimientos abdominales y torácicos (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).
- g. Sensores para la actividad cardíaca.-** Mientras que en el monitoreo de la actividad cardíaca, los textiles inteligentes se han desarrollado con facilidad, aplicando sensores de fibras ópticas que evalúan la actividad cardíaca mediante el

procesamiento de los datos fisiológicos que provee el sensor. Este tipo de sensores tiene potencial en aplicaciones clínicas durante el monitoreo de resonancia de imagen (MRI) (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).

- h. Sensores bioquímicos.-** Los sensores químicos a base de fibra óptica incluyen un recubrimiento que actúa como una piel inteligente, reaccionando a los diferentes compuestos químicos del ambiente. Siendo utilizados como indicadores de compuestos químicos de vapores, como etanol, metano y formaldehído, amoníaco, gas, entre otros. Como sensores ópticos textiles, se aplican a la medicina y salud. Como ejemplo BIOTEX presenta investigaciones que demuestran un sensor óptico capaz de analizar el sudor mediante el cambio de pH, basando específicamente en la colorimetría (Anne Schwarz-Pfeiffer, 2015).

Podemos encontrar una gran variedad de sensores ópticos textiles, de acuerdo con la literatura es uno de los más utilizados en el campo de la medicina y sus diferentes áreas, en especial monitoreo de respiración, fisioterapia, entre otros, esto es debido a sus grandes características independientemente del tipo de fibra óptica, además que presenta una fácil integración en los diferentes tipos y estructuras del tejido, lo que ayuda a incrementar sus aplicaciones.



**Figura 29:** Tejido fabricados con sensores de fibras ópticas.

**Fuente:** (Ghosh, 2015).

- e) **Sensores de química y bioquímica.-** Estos sensores tiene la capacidad de interactuar con especies químicas y generar señales eléctricas medibles. Estos pueden trabajar en contacto o sin contacto con las especies químicas, sus aplicaciones varían desde la medición del pH hasta la concentración y medición del calor (Ghosh, 2015).

Un sensor químico o bioquímico consta principalmente de dos partes. La primera parte consta de una capa de detección activa y la segunda de un transductor físico el cual puede ser electroquímico, óptico, eléctrico o térmico, dependiendo de la aplicación.

Los materiales textiles han sido utilizados para la fabricación de este tipo de sensores como son, la poliamida y licra, telas de poliéster y lycra con tintes sensibles al pH, hidrogeles, sensores textiles químicos basados en la detección de colorimetría y amperimétrica (Ghosh, 2015). Hay que mencionar que la fibra óptica es su principal material de fabricación para este tipo de sensores.

- f) **Sensores piezorresistivos.-** un material piezorresistivo se caracteriza por su comportamiento, en donde la propiedad del material implica un cambio en su resistencia eléctrica, por aplicación de tensión o deformación, esto genera un mecanismo de transducción directa entre la acción mecánica y los dominios eléctricos. Los materiales utilizados para este tipo de sensores son las aleaciones y semiconductores como el germanio y el silicio. Así como también polímeros (IPC), elastómeros compuestos (CE) que contienen partículas conductoras carbonosas o metálicas. Estos sensores pueden de igual manera ir incluidos en el tejido, hilado y estampados. Hay que considerar que dependiendo de la respuesta estructural la resistencia del material puede aumentar o disminuir. (Ghosh, 2015).

Este tipo de sensores presentan una amplia aplicación como es en monitoreo de la tensión, detección de gas, detección de temperatura, detección de presión, vigilancia en la salud, rehabilitación y control de la postura, control de la respiración abdominal y torácica,

cinemática del cuerpo humano, entrenamiento humano en la prevención de lesiones, entre otros. La ventaja de este tipo de sensores es la producción de grandes señales a grandes velocidades.

Una de las investigaciones más actuales en aplicación de este tipo de sensores piezorresistivos, nos muestra Syed Talha Ali Hamdani y Anura Fernando los cuales realizan la aplicación de un sensor piezorresistivo en cinturón de seguridad en un automóvil. Permitiendo controlar la respiración y la insuficiencia cardiaca del conductor. El desarrollo de este prototipo se basa en un no tejido a base de tinta de cobre, en donde el sensor genera señales debido a la presión ejercida sobre él, como resultado de la expansión del tórax y el área del abdomen.



**Figura 30:** Sensores en colocados en el cinturón de seguridad con el sujeto de prueba.

**Fuente:** (Hamdani, 2015).

Un determinado número de sensores se encuentran integrados en el cinturón de seguridad, los cuales se encuentran ubicados en cerca del tórax y el abdomen, como se observa en la figura 30.

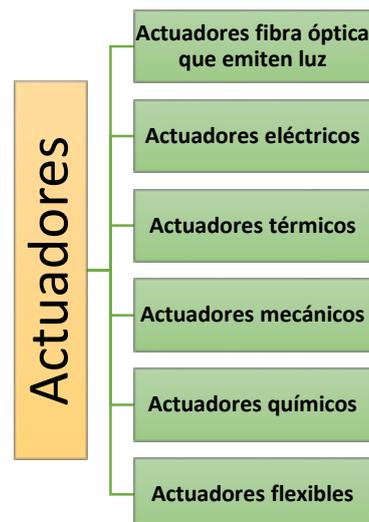
La investigación expresa que el prototipo presenta grandes expectativas en las pruebas desarrolladas pero aún debe presentar mejoras en las técnicas de filtrado de la señal para tener mejor sensibilidad en la frecuencia cardiaca (Hamdani, 2015).

### 4.2.3. Actuadores

Los actuadores son sistemas que pretenden responder a una señal que por lo general es eléctrica, de manera consistente, rápida y eficiente en cuanto a consumo y administración de energía (Langenhove, 2015).

Podemos encontrar en la literatura una gran variedad de actuadores de manera similar a los sensores, pero a diferencia, la mayoría aún se encuentra en fases experimentales y de mejoras, pero presentan grandes propuestas para el desarrollo tecnológico de este tipo de materiales, y grandes aplicaciones.

Cuando hablamos de materiales con la capacidad de actuación se describen generalmente a textiles inteligentes activos, los cuales al percibir el estímulo del medio ambiente y reaccionar de determinada manera. Pero en los textiles muy inteligentes es tarea de los actuadores reaccionar a la señal proveniente del sensor o una unidad de procesamiento de datos respectivamente (Wei Ch., 2015). Los actuadores son capaces de reaccionar de diferente manera, son capaces de transformar la energía térmica en movimiento, liberando sustancias, emitir ruido, entre muchos más (Paul KIEKENS, 2004). Entre la literatura se puede también ver reflejados varios tipos de actuadores como son:



*Ilustración 10: tipo de actuadores usados en los textiles ultra inteligentes*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

- a) Actuadores fibra óptica que emiten luz.-** Los actuadores de fibra óptica que emiten luz, se caracterizan por el uso de capas de revestimiento por la cual se libera la luz. Esto permite la creación de estructuras textiles con iluminación ya sean n tejidos planos o de punto. Existe una variedad de literatura disponible que destacan los proyectos de investigación los cuales presentan una gran perspectiva de amplia aplicación hacia un futuro cercano, siempre considerando parámetros como Led, fuente de alimentación, interconexiones, fibra óptica y áreas de iluminación.

Un ejemplo claro es el programa de Philips Lumalive el cual provee la integración de LEDs en combinación con materiales textiles en ropa y muebles (Langenhove, 2015). Así también se puede encontrar en el mercado cintas que contienen LEDs los cuales pueden ser fácilmente integrados a una estructura textil.

- b) Actuadores eléctricos.-** Los actuadores eléctricos textiles inteligentes son utilizados generalmente para electro estimulación, estos actuadores constan de dos electrodos entre los cuales se aplican un campo eléctrico. La literatura expresa una variedad de aplicaciones, entre ellas Fitness, bienestar y alivio del dolor, para entrenamiento y fisioterapia, para tratar el dolor y la tumefacción, estimulación de músculos, en tratamientos neurológicos, mejorar la cicatrización de la herida, entre otros (Langenhove, 2015).
- c) Actuadores térmicos.-** Este tipo de actuador tiene el objetivo de proporcionar calefacción o refrigeración. Para lo cual se emplean hilos conductores integrados en la estructura textil con patrones simples (Langenhove, 2015).
- d) Actuadores mecánicos.-** Los actuadores químicos textiles se caracterizan por la liberación de sustancias químicas de forma controlada. Este tipo de actuadores emplean técnicas de micro encapsulado, ciclo-dextrinas, hidrogeles, y estructuras de nano fibras (Langenhove, 2015).

e) **Actuadores químicos.-** La mayoría de actuadores mecánicos incluyen materiales textiles como memora de la forma, estructuras multicapas, materiales electro-strictivos, polímeros electro-activos. Pero presentan una gran desventaja ya que son lentos y necesitan de altos voltajes (Langenhove, 2015).

f) **Actuadores flexibles**

En la literatura a menudo se encuentra diversos materiales textiles inteligentes tradicionales empleados como actuadores, como son, materiales con memoria de la forma aplicando aleaciones en hilos, materiales como cerámicas y materiales magnetostrictivos. También presenta desarrollos en materiales con mejores cualidades, como polímeros los cuales son más suaves y flexibles capaces de convertir energía eléctrica en mecánica que imparte movimiento o fuerza considerado como musculo artificial. Dentro de este tipo de actuadores es importante diferenciar sus clases, como son:

- Actuadores conducidos por el campo eléctrico de polímeros electro-activos (EAP) y
- Actuadores conducidos por campos de estímulos ópticos, térmicos y químicos.

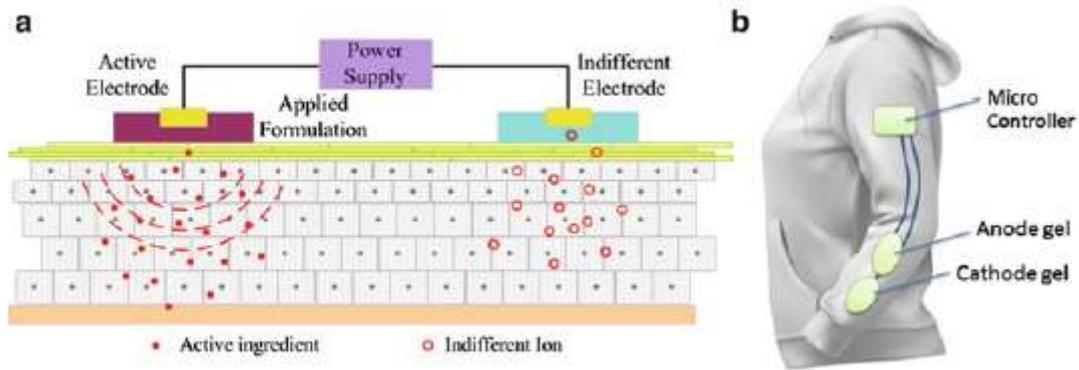
Los actuadores de elastómero dieléctrico (EPA) son actuadores a base de polímeros ferro-eléctricos integrados en forma de película entre electrodos compatibles, que al aplicarse una diferencia de voltaje entre estos electrodos causa la compresión de espesor y se extiende la zona de la película de polímero (Wei Ch., 2015). Entre la literatura se encuentra actuadores a base de fluoruro de polivinilideno (PVDF), sus copolimeros y terpolimeros. También son considerados en la literatura como EPA di eléctrico a los actuadores de Gel no iónicos, ya que estos geles se compone de un material eléctricamente inactivo con un plastificante el cual puede ser poli alcohol de vinilo (PVA), gel DMSO y cloruro de polivinilo(PVC), entre otros (Wei Ch., 2015). La investigación en la aplicación de polímeros de elastómero acrecienta el campo de aplicación de los textiles muy inteligentes.

También encontramos materiales EPA iónicos como geles poli electrolito o compuestos de metal de polímeros iónicos. Además de los polímeros de realización (CP) como son polypyrrole (PPy) y polianilina (PANi). Uno de los materiales que presenta gran potencialidad como actuador es el Gel de Buckyes cual debido a sus propiedades mecánicas y eléctricas de nanotubos de carbono, presentan una alta conductividad eléctrica y estabilidad a los líquidos iónicos (Wei Ch., 2015).

#### **4.2.3.1.Aplicaciones**

Las aplicaciones de estos actuadores textiles se ven reflejadas ya en la actualidad en la ropa y textiles hogar como alfombras, muebles tapizados, cortinas, toallas, manteles, en el arte, como textil técnico y mucho más. “En un futuro cercano, el campo de textiles inteligentes está seguro de ser afectados significativamente por la aplicación de la tecnología de actuador flexible” (Wei Ch., 2015).

Dentro de los materiales textiles de tercera generación podemos encontrar que sus aplicaciones se han realizado en trajes de rehabilitación, guantes de control remoto, trajes espaciales. Un ejemplo es la NASA que ha integrado actuadores flexibles a base de textiles inteligentes en los trajes espaciales, con la finalidad de promover el movimiento y evitar la pérdida ósea del cuerpo, como se observa en la figura 31.

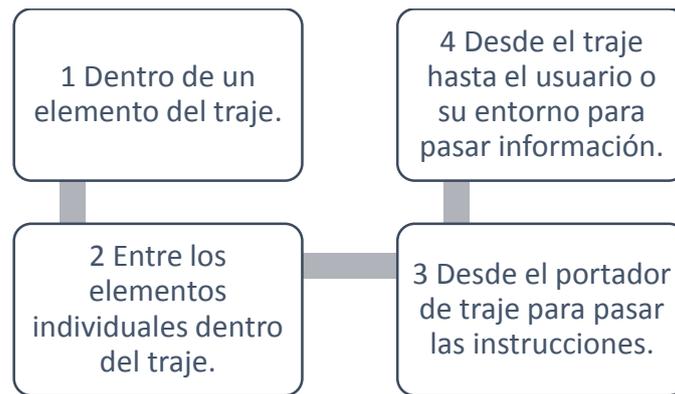


**Figura 31:** Gel a base de poli electrolito con suministro de droga en un suéter  
 (a) Mecanismo de liberación de fármaco, (b) suéter con integración de parches de administración de fármacos basado en gel de poli electrolito.

**Fuente:** (Wei Ch., 2015).

#### 4.2.4. Componentes de Comunicación

La comunicación es muy importantes en los textiles inteligentes ya que la información obtenida puede ser monitoreada y se puede tomar media sobre ella. La literatura describe que para en un textil inteligente resulte la comunicación e interacción con el usuario, todos los componentes activos tanto sensores, electrónica, actuadores deben estar conectados (Lieva Van Langenhove C. H., 2012). En algunas investigaciones la comunicación del textil con el usuario, se maneja por medio de un teclado textil o una pantalla textil. Dentro de los textiles los componentes de comunicación se presentan de la siguiente manera.



**Ilustración 11:** características de posición de un sistema de comunicación.

**Fuente:** (Paul KIEKENS, 2004).

**Elaborado por:** Lisseth Pambaquishpe

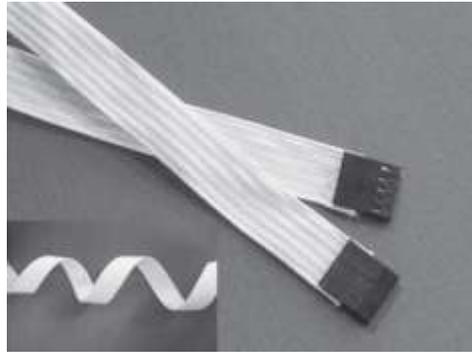
La comunicación en un textil inteligente hace referencia a las redes información y transferencia de energía entre los componentes de la ropa inteligente (Cho, 2010). Dentro de la literatura se diferencian dos sistemas de comunicación a base de textiles, aquellos sistemas de corto alcance y comunicación de largo alcance, cada una con sus características y aplicaciones.

#### **4.2.4.1. Comunicación a corto alcance**

La comunicación de corto alcance dentro de los textiles inteligentes se puede presentar de forma inalámbrica por medio de infrarrojo o bluetooth o por medio de cableados incorporados en la estructura textil.

Se puede describir que para incorporar redes de comunicación en la estructura textil se incluyen materiales como fibras conductoras y fibras ópticas, por medio de técnicas de hilados, tejidos y bordados. En la literatura se encuentran muchos proyectos e investigaciones sobre la incorporación de sistemas de comunicación, por ejemplo Cho (2010) menciona a Post y Orth como uno de los primeros contribuyentes en la tecnología de textiles conductores para la comunicación, el cual emplea técnicas de tejidos conductores, bordados y fibras conductoras para la transición de la comunicación. (Cho, 2010).

Con este tipo de comunicación se han encontrado diseños de ropa inteligente para monitorear los signos vitales durante el combate personal, con el objetivo de detectar heridas de bala, y así poder transmitir la información sobre el lugar de la penetración de la bala.



**Figura 32:** Líneas de transmisión basada en textiles.

**Fuente:** (Cho, 2010).

La comunicación inalámbrica a corto alcance emplea tecnología bluetooth de manera que permite conectarse a la estructura textil y transferir información entre los dispositivos electrónicos. Es usado en ropa elegante, para monitorizar en tiempo real los signos vitales de pacientes ayudando a estimar la situación de las enfermedades.

#### **4.2.4.2. Comunicación a largo alcance**

Podemos decir que las comunicaciones de largo alcance emplean tecnología inalámbrica permitiendo una comunicación de gran superficie esta tecnología permite la transferencia de datos, tales como audio, fotos, videos, entre otros. En la literatura encontramos tecnología empleada en textiles inteligentes como el sistema Global para comunicaciones móviles (GSM), la tecnología de tercera generación (3G), así como también la incorporación de GPS. Esto permite la interacción del usuario con los teléfonos inteligentes o las computadoras portátiles (Langenhove, 2015).

Un ejemplo de comunicación tenemos a “Wearable absence” el cual es un proyecto de colaboración con Janis Jefferies y su equipo de investigación en los estudios digitales en el Goldsmiths College, Universidad de Londres. Este proyecto consiste en el desarrollo de prendas dinámicas las cuales incorporan tecnología inalámbrica y dispositivos Bioreceptores. El objetivo de esta prenda inteligente es obtener y reproducir información (imágenes y sonidos) que corresponde a una persona ausente (Martín M. S., Tecnología para tu cuerpo , 2010)

#### **4.2.5. Componentes de Energía suplementaria**

Se puede entender que cuando se trabaja con textiles inteligentes de tercera generación, uno de los componentes necesarios es el suministro de energía, para el suministro de energía Lieva Van Langenhove (2015) describe que se logra de dos maneras:

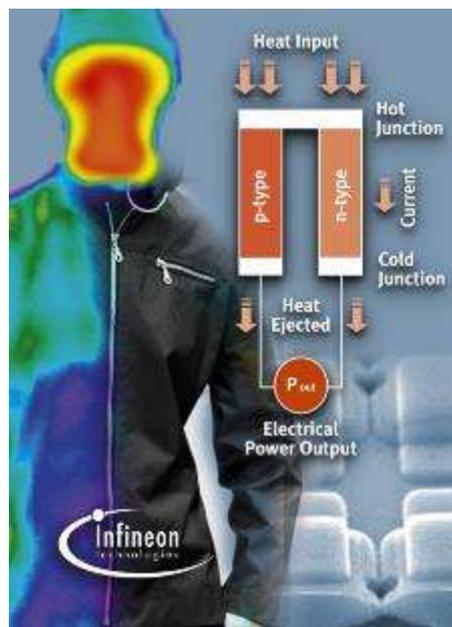
- Mediante el almacenamiento de energía
- Energía de compactación.

Esto debido a que la detección, procesamiento de datos, actuación, y comunicación de un textil inteligente, necesitan de energía, en especial de energía eléctrica para su funcionamiento.

Para el almacenamiento de energía, se ha encontrado el uso de baterías electroquímicas y pilas basadas en la capacitancia las cuales están actualmente en uso. La característica de estas baterías es que la densidad de almacenamiento es limitada, por lo que al ser gran volumen y de significativa superficie, pueden generar incomodidad al usuario (Langenhove, 2015).

En cuanto al empleo de baterías de capacitancia, la literatura expresa el uso de nanotubos de carbono como súper-condensadores para transmitir energía.

Se puede observar que la innovación de fuentes de energía para los textiles inteligentes ha sido un gran reto, ya que se considera que una fuente de alimentación de energía en un textil debe ser flexible y ligero, para evitar cargas al usuario. Además de resistir al lavado y al uso. Un ejemplo de suministro de energía, es Infineon, quien elaboro uno de los primeros componentes de materiales textiles inteligentes, la cual ha desarrollado un dispositivo capaz de cosechar energía mediante la diferencia de temperaturas entre el cuerpo humano y el medio ambiente, y mediante el uso de termorreguladores. Se caracteriza por el dispositivo, el cual tiene el tamaño de una moneda de euro, con capacidad suficiente de suministrar energía para un pequeño sensor (Langenhove, 2015).



**Figura 33:** Diseño Infineon

*Diseño Infineon auto-alimentados por termo generadores colocados en la ropa, por el calor del cuerpo.*

**Fuente:** <http://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/press-releases/2002/130751.html>

También se han encontrado disponibles en el mercado láminas flexibles de PV elaborado por COLAE. O el uso de células fotovoltaicas en sustratos textiles, planteado por proyectos europeos DEPHOTEX. El proyecto Dephotex pretende también desarrollar estructuras fotovoltaicas basadas en fibras (Lieva Van Langenhove C. H., 2012).

La energía se puede encontrar en el medio ambiente sea en forma de calor, luz y movimiento, encontrando en la aplicación textil varios mecanismos para cosecharlos, ya sea mediante células solares flexibles tejidas, fibras fotovoltaicas, mediante la estimulación y micro generadores de vibración.

#### **4.2.6. Componentes de Procesamiento de datos**

El procesamiento de datos es una de las características más importantes dentro de los textiles de tercera generación. Se puede decir, que la gestión de datos implica la memoria, tecnología computacional y procesamiento de datos. Pero el desarrollo de procesamiento de datos mediante o través de textiles aun no es una realidad. Pero se puede deducir que los componentes electrónicos se han podido acoplar a las diferentes estructuras textiles, logrando grandes diseños funcionales de textiles electrónicos. La integración de los diferentes elementos electrónicos ha sido posible gracias a la miniaturización de estos componentes y al desarrollo de sustratos textiles con capacidad conductora (Cho, 2010).

Podemos decir que el reto está en el desarrollo de electrónica a base de fibras y los diferentes sustratos textiles. En la literatura se encuentra investigaciones que apuntan a la creación de transistores a base de fibras textiles. Como uno de los primeros desarrollos con esta tecnología tenemos a Geogia Tech. Se emplea fibras ópticas y conductoras además de una variedad de componentes activos como sensores y procesadores, todos ellos siendo parte de la estructura textil, de manera que se emplea aplicaciones de procesamiento de información usable. La UE Proetex ha empleado esfuerzos en el desarrollo de transistores a base de

fibras, en forma de cintas que pueden ser tejidas en la tela, pero aún se requiere mejorar sus características (Langenhove, 2015).

#### **4.2.7. Interconexiones**

Como último principio se presentan las interconexiones, de la cual podemos decir que en los textiles tratan de generar una armonía entre los circuitos integrados y la misma estructura del textil, con la finalidad de brindar mayores beneficios y comunicación con el usuario. Siempre tomando en cuenta la comodidad, durabilidad, flexibilidad, es decir sin alterar las características de una ropa común.

Podeos decir que los sistemas de circuitos integrados en su inicio eran de materiales semiconductores de silicio, los cuales presentan rigidez e incomodidad para el usuario. Es por eso que actualmente se emplea materiales poliméricos conductores, por su gran flexibilidad y ligereza. Los nuevos avances tecnológicos en materiales, estructuras y técnicas, ha permitido la comercialización de ropa inteligente. Se deduce que los circuitos electrónicos se encuentran en forma miniatura construidos sobre un sustrato textil semiconductor.

Para el desarrollo de ropa inteligente, en donde todos los componentes para un textil de tercera generación, sean basados todos en textiles, aún requiere de más investigaciones, como en el suministro de energía, mantenimiento y portabilidad (Cho, 2010). La mayoría de estructuras textiles encontrada en la literatura, se basan en fibras conductoras y ópticas.

Actualmente la integración de interconexiones en los tejidos textiles se emplea tanto en la medicina, la moda, y otros campos.

### 4.3. Evolución y aplicación de los materiales textiles ultra inteligentes

La evolución de los textiles inteligentes de tercera generación, se presenta de acuerdo las características determinadas de los artículos científicos y académicos revisados y analizados. Tomando en cuenta el año de publicación del artículo y el año de invención del textil inteligente de tercera generación. Dicho resultado se presenta en las siguientes tablas.

#### 4.3.1. Materiales textiles ultra inteligentes en prendas deportivas

Las prendas deportivas también incorporan materiales textiles inteligentes que permiten el mejor desempeño de los deportistas en las diferentes disciplinas. Los materiales textiles de segunda generación son los más comunes y más aplicados en las prendas deportivas por lo que son muy fáciles encontrar en el mercado. Pero también se han realizado esfuerzos para la incorporación de materiales textiles de tercera generación, con fines más prácticos y definidos enfocados no si no en el rendimiento del deportista sino también en el control de la salud del mismo, como son el control de la respiración, ritmo cardiaco, posición de cuerpo, temperatura, entre otros. Los principales sistemas de sensores en los materiales textiles con sus aplicaciones se presentan en el siguiente cuadro.

*Tabla 3: Aplicación de materiales textiles inteligentes en prendas deportivas.*

TIPO DE SENSORES DE MATERIALES TEXTILES	CARACTERÍSTICA	MECANISMO	EJEMPLO DE APLICACIÓN
Sensores biopotenciales para monitorización de ECG y EMG	Se usa principalmente los cambios periódicos de potencial eléctrico para actividades cardiovasculares	Usa como mecanismo un electrodo portátil de tejido y con hilos de plata tejidos en la superficie de la ropa. De manera que los electrodos del textil no se fijan en la piel y son sensibles al movimiento	lifeShirt  <a href="http://vivonoetics.com/products/sensors/lifeshirt/">http://vivonoetics.com/products/sensors/lifeshirt/</a>

	y actividades musculares.	del cuerpo.	
Sensores de respiración	Los sensores de respiración permiten medir la circunferencia del pecho o el abdomen y su cambio durante las actividades de exhalación e inhalación	La base de los sensores de respiración es la neumografía. Y los métodos usados son la pletismografía inductiva respiratoria (RIP) y sensores piezoeléctricos.	Smartex Wearable Wellness System.  www.smartex.it
Sensores de movimientos	Los sensores de movimiento tienen gran potencial para rehabilitación y entrenamiento de fitness. Los sensores permiten medir la cantidad y calidad de ejercicio. Permiten convertir el movimiento mecánico en una señal eléctrica.	Los sensores más comúnmente utilizados son los acelerómetros que toma la forma de circuito en el tejido textil, un transceptor para comunicación inalámbrica y conexión de la batería.  Incluyen también sensores, piezoeléctrico, piezorresistivo, capacitivo, efecto Hall, magneto resistivo y sensores resistivos.	Intelligent Knee Sleeve  www.csiro.au.

**Fuente:** ( Textronics, Inc, 2016).

**Elaborado por:** Lisseth Pambaquishpe.

### 4.3.2. Materiales textiles ultra inteligentes para prendas de defensa.

El desarrollo de los materiales de defensa como se puede observar en la tabla 4 empieza en la década de los 90 con el desarrollo de la tecnología Motherboard, siendo es uno de los primeros sistemas tecnológicos que emplea materiales textiles como fibras ópticas y conductoras para la transferencia de información, para el control de la salud de los soldados, posición, entre otros (R. Nayak, 2015). Actualmente dentro de este campo se han logrado grandes avances para superar al primer diseño, logrando más funcionalidades y mejor comodidad, flexibilidad, mediante el empleo de nuevas fibras ópticas fotosensibles y tela espectro-métrica.

Actualmente la tecnología de Gerogia Tech ha sido la base de la infraestructura de información para el monitoreo vital de cuerpo humano, como temperatura, ritmo cardiaco, respiración e información sobre heridas. Toda la información que provee este sistema puede ser utilizada para el trabajo de los soldados en batalla.

Para la fabricación de esta tecnología y su compleja preparación de fibras y tejidos la compañía “Intelligen Textiles” ha patentado numerosas técnicas de fabricación y uso, siendo ya utilizadas por el ministro de defensa británico.

En el siguiente cuadro se puede observar las diferentes aplicaciones actuales de esta tecnología.

*Tabla 4: Aplicación de materiales textiles inteligentes de defensa*

TIPO DE APLICACIÓN	CARACTERÍSTICA	MECANISMO	EJEMPLO DE APLICACIÓN
Uso de sensores biométricos	Vigilancia a la salud de los soldados. El sistema permite obtener información	Usa sistemas de electrocardiografía (ECG) Electromiografía	El cuerpo eléctrico: uniformes militares <a href="https://www.fastcompany.com/1552679/body-electric-">https://www.fastcompany.com/1552679/body-electric-</a>

	del proceso fisiológico del cuerpo humano	(EMG) Electroencefalografía(EEG), Medición del sudor y temperatura, detección de heridas.	britain-win-hearts-minds-powered-military-uniforms
Sensores de localización	Permite la localización global e identificación de soldados mediante satélites.	Usa sistemas de posición GPS y dispositivos inalámbricos como Wi-Fi, Bluetooth, Cell ID, ultrasonido, radiofrecuencia.	Antena textil con placa de conductor magnético artificial.  <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6905728">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6905728</a>
Sensores acústicos	Usa sistemas de comunicación que permite el intercambio de información	Usa sistemas inalámbricos y dispositivos cableados, como micrófono, grabación de audio, detectores de ultrasonido y reconocimiento de voz.	Antena textil de polímero modificado para comunicaciones de nubes verdes simbólicas  <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6415760">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6415760</a>

**Fuente:** (R. Nayak, 2015).

**Elaborado por:** Lisseth Pambaquishpe

### 4.3.3. Materiales inteligentes en aplicaciones médicas

En la década de los 60 el campo de la medicina utilizaba monitores portátil Holter. Pero con el avance tecnológico en los materiales textiles inteligentes, existe ropa adaptada capaz de medir la frecuencia cardiaca y que además es capaz de comunicare con teléfonos móviles. Es así que uno de los primeros proyectos conocidos es Myheart que apareció en el 2004. Los materiales ultra inteligentes textiles han permitido realizar grandes avances en la medicina sobre la fisiología del cuerpo humano. Los sensores tejidos permiten tener información del portador y realizar un monitoreo y control del mismo. Los principales factores este tipo de tecnología controla es la respiración, el ritmo cardiaco, tipos y niveles de actividad, determinando el estado de salud del portador.

La tecnología que se utiliza para estos tejidos son sensores que responden al cambio físico de la persona, tales como electrodos, termistores, acelerómetros, además del uso de quimio-sensores, estos últimos más avanzados son capaces de interactuar a un nivel molecular y que son aplicados para supervisar la composición de los líquidos corporales, como el sudor, lágrimas y orina.

*Tabla 5: Aplicación de materiales textiles inteligentes médicos*

APLICACIÓN DE MEDICIÓN FISIOLÓGICA	TIPO DE SENSORES TEXTILES INTEGRADOS	FUENTE DE LA SEÑAL	EJEMPLO DE APLICACIÓN
Patrones de respiración.	Sensores piezo-resistiva del estiramiento. Pletismografía. Pletismografía de impedancia. Fibras ópticas.	expansión y contracción de la caja torácica durante a respiración	OFSETH in short <a href="http://www.ofseth.org/IMG/pdf/ofseth_print-mars-2008.pdf">http://www.ofseth.org/IMG/pdf/ofseth_print-mars-2008.pdf</a>

Actividad cardiaca.	Electrodos en tejido de punto	Actividad eléctrica del corazón	BioHarness™ 3 <a href="http://www.zephyr-technology.nl/en/product/71/zephyr-bioharness.html#">http://www.zephyr-technology.nl/en/product/71/zephyr-bioharness.html#</a>
Actividad muscular.	Electrodos en tejido de punto	Actividad eléctrica de los músculos	Textile Pressure Sensor for Muscle Activity and Motion Detection. <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4067729">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4067729</a>
Saturación de oxígeno en la sangre.	Elementos ópticos, fibras ópticas plásticas sensibles	Absorción de la luz de la hemoglobina en sangre	BIOTEX <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5373946">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5373946</a>
Presión sanguínea.	Característica de la señal de fotoplecismografía (PPG)	Pulsaciones de la presión arterial	Camiseta de la Salud (h-Camisa). <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4201273">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4201273</a>
Movimiento del cuerpo y la postura.	Sensores de tensión y de presión Piezo-Resistivos, acelerómetros, giroscopios, sensores de fibra óptica.	La cinemática del cuerpo	Prototipo de prendas de vestir para el reconocimiento de la postura de la parte superior del cuerpo mediante el uso de sensores de tensión textiles. <a href="http://ieeexplore.ieee.org/st">http://ieeexplore.ieee.org/st</a>

			amp/stamp.jsp?arnumber=4373773
Actividad electrodermal.	Electrodos tejidos	Conductividad eléctrica de la piel	Guante inteligente: el reconocimiento de la excitación sobre la base de la materia textil de respuesta electrodérmica.  <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5627453">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5627453</a>
Composición de los fluidos corporales.	Sensores electroquímicos, tela colorimétrico de pH	Composición de sudor, saliva y orina.	BIOTEX  <a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5373946">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5373946</a>

*Fuente: (Diamond, 2013)*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

#### **4.4. Evolución de los textiles ultra inteligentes en el tiempo**

En la siguiente tabla se ve reflejado el comienzo de los textiles inteligentes de tercera generación con su primera investigación Dataglove y PowerGlove. Se describe las aplicaciones de los diferentes sistemas de textiles de tercera generación y sus características con el respectivo año de surgimiento.

**Tabla 6:** Aplicación de materiales textiles inteligentes

SISTEMA	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICA	AÑO
Dataglove y PowerGlove	Sistema de guates de datos desarrollado por la empresa de juegos Mattel	Utiliza tela licra para la flexibilidad y comodidad.  Está equipado con fibras ópticas como sensores que envían señales al procesador central.  Registra el movimiento de los dedos y la posición de la mano mediante seguidores acústicos.	1980
Placa base portátil de Geogía Tech.	Sistema de desarrollado en el Instituto Tecnológico de Georgia de Estados Unidos. Por Sundaresan Jayaraman	Tejido: expandex y polipropileno  Fibras: fibras conductoras de polietileno con núcleo de cobre y nylon mezclado con partículas inorgánicas.  Uso de sistema de sensores para detectar balas. Control de gases nocivos. Control de ritmo cardiaco en bebes.	1996
Cyber jacket	La Universidad de Bristol, y científicos del Departamento de Ciencias de la Computación desarrollaron la "chaqueta cibernético"	La chaqueta tiene integrado sistemas de localización, con un sistema informático móvil. La arquitectura del software tiene un modelo natural para la integración	1997
Tela espectrometría	Materiales muy inteligentes desarrollado	El desarrollo de estos materiales se basa en el diseño	1998-2004

	por Yoel Fink, MIT en estados unidos	<p>óptico, materiales y técnicas de fabricación de fibras inteligentes, con capacidad de detectar luz, transmitir luz t corriente eléctrica y analizar sus colores.</p> <p>Sus principales aplicaciones son la pantalla computarizada de fibras flexibles fotosensibles o las prendas militares protectoras.</p>	
Bordado de antena textil para sistema de comunicaciones	Este tipo de e-textiles se basa en el uso de fibras electroconductoras (e-fibras), aplica técnicas de bordado y costura de alta densidad para la fabricación de antenas textiles de cobre y circuitos de RF (radiofrecuencia).	Usados para sistemas de comunicación inalámbrica (UHF, GSM, PCS, WLAN) en diferentes prendas de vestir como chaquetas, para la fabricación de sensor de pulmón textil para el cuidado de la salud, para el seguimiento de neumáticos, entre otros.	Años 2000 en adelante

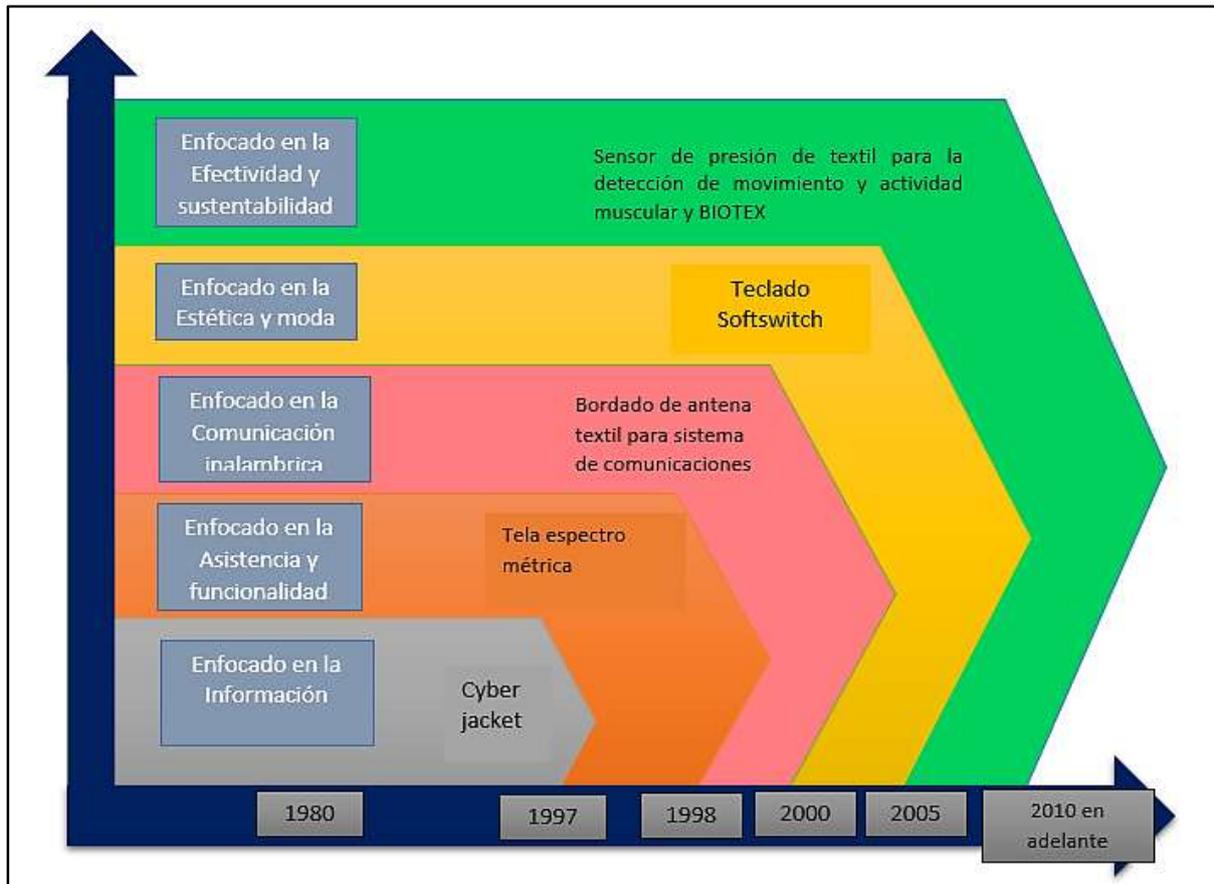
<p>Sensores portátiles en prendas deportivas para los atletas</p>	<p>De la misma manera este tipo de producto emplea sensores textiles conductores, flexibles y lavables, estos realiza una interconexión mediante un módulo electrónico o procesador de datos generando una comunicación inalámbrica con los dispositivos celulares, para de esta manera llegar al usuario.</p> <p>Estos sistemas permiten controlar la respiración y la aceleración del cuerpo humano durante la actividad física</p>	<p>Los productos que actualmente se puede encontrar en el mercado son:</p> <p>Lifeshirt</p> <p>Wearable Wellness system</p> <p>Intelligent knee sleeve</p> <p>Micoach</p>	2000
<p>Pantallas textiles</p>	<p>Investigación encabezada por Emeric Mourot en France Telecom</p>	<p>Consiste en la incorporación de pantallas textiles en telas mediante las fibras ópticas.</p> <p>Su estructura es una matriz de pantalla que se forma al tejer fibra óptica e hilos clásicos en una estructura específica.</p> <p>Con perforación en el cable de fibra óptica, se permite iluminar ciertas unidades específicas de la matriz</p>	2001

Teclado Softswitch	<p>Tecnología desarrollada por Softwitch Ltd. En el Reino Unido para Burton en el 2005.</p> <p>El material fue desarrollado por la compañía británica Elekesen denominado ElekTex</p>	<p>El material ElekTex está formado por cinco capas de tela cada una, con una propiedad específica, que al final forman un touchpad resistivo.</p> <p>Cuando se aplica presión las capas se comprimen formando un circuito electrónico.</p>	2005-2006
<p>Sensor de presión de textil para la detección de movimiento y actividad muscular</p> <p>“Textile Pressure Sensor for Muscle Activity and Motion Detection”</p>	<p>Investigación publicada en el 2006 en la revista IIEEX por Jan Meyer</p> <p>Wearable Computing Lab, ETH Zurich, Paul Lukowicz</p> <p>Institute for Computer Systems and Networks, UMIT Hall, Austria. Y Gerhard Troster</p> <p>Wearable Computing Lab, ETH Zurich,</p>	<p>Presenta un tejido puro con sensores de presión capacitivos que se pueden integrar en las prendas de vestir y medir la presión del cuerpo humano.</p> <p><a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4067729">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=4067729</a></p>	2006
Prototipo de prendas de vestir para el reconocimiento de la postura de la parte superior del cuerpo mediante el uso de sensores de	El prototipo emplea el desarrollo de un nuevo sensor de deformación de elastómero termoplástico que se utiliza para medir la tensión	Puede ser aplicado en prendas deportivas para el entrenamiento y rehabilitación.	2007

tensión textiles.			
BIOTEX	<p>Desarrollo de sensores textiles para el control fisiológico del cuerpo humano. Aplicación de sensores textiles para detección de la sudoración, la respiración y oxigenación de la sangre.</p> <p>BIOTEX fue un proyecto financiado por la UE</p>	<p>Se puede aplicar en los deportes, y en el campo clínico, aún está en proceso de investigación.</p> <p><a href="http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5373946">http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5373946</a></p>	2010

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

De acuerdo con el análisis de la literatura especializada en la siguiente ilustración se pretende presentar como resultado el avance tecnológico de los textiles inteligentes de tercera generación, con los diferentes cambios de enfoques de aplicación que se logra identificar desde sus inicios hasta nuestra actualidad.



*Ilustración 12: Evolución de los materiales textiles muy inteligentes*

*Elaborado por: Lisseth Pambaquishpe*

## CONCLUSIONES

1. Es esencial apoyarse del conocimiento de otras áreas de investigación como, sistemas de red, sistemas de control de nervios, fotónica, procesos integrados, estructuras, biométrica, bio-procesamiento, ingeniería de los tejidos, química de la liberación de fármacos, para poder diseñar, fabricar e innovar en el campo de los textiles inteligentes de tercera generación.
2. En la actualidad las investigaciones en el área de textiles inteligentes de tercera generación, están enfocados a mejorar sus diseños y funcionalidades, con la finalidad de que sean más confortables para el usuario, sean más durables y resistentes, sean

flexibles y fáciles de lavar, para que el sustrato textil pueda tener una mejor interacción dinámica con el usuario.

3. Del análisis de las diferentes literaturas científicas y especializadas, se deduce que los principios fundamentales que actualmente se destacan y diferencian a los textiles inteligentes de tercera generación con los de la primera y segunda generación son: los materiales textiles inteligentes, sensores textiles, actuadores, componentes de comunicación, de energía suplementaria, de procesamiento de datos y las interconexiones.
4. La información encontrada de los diferentes artículos científicos y literatura especializada, relacionada con los materiales textiles inteligentes ultra inteligentes, ha permitido realizar un análisis profundo del tema, y la tecnología aplicada en combinación con los materiales textiles inteligentes, permitiendo determinar su evolución en las aplicaciones a través del tiempo la cual se encuentra reflejada en la ilustración 12.
5. El desarrollo de la tecnología en los materiales textiles de tercera generación ha permitido encontrar avances tecnológicos en el desarrollo de nuevas fibras específicas para los textiles ultra inteligentes, como materiales conductores de polímeros, fibras ópticas flexibles, y demás detalladas en el capítulo 4 de la presente tesis.
6. La nano tecnología ha tenido una gran impacto en los textiles inteligentes de tercera generación, permitiendo potenciar sus funcionalidades y aplicaciones, y abriendo nuevos campos de investigación en el desarrollo de nano-sensores, nano-generadores de energía, y la implementación de nano-partículas conductoras.
7. Hasta la actualidad los sensores son los únicos capaces de ser fabricados a base de materiales textiles, mientras que los demás principios solo se adaptan y se diseñan

específicamente para la interacción con el sustrato textil, el usuario y la tecnología de avanzada., por lo que ningún producto textil de tercera generación que pretende ser 100% a base de materiales textiles.

8. Es así que la evolución de los textiles de tercera generación se presenta en siete enfoques como son:
  - a) Enfocado a la información del usuario para materiales de defensa.
  - b) Enfocado en la asistencia médica para el tratamiento preventivo de las condiciones adversas del usuario.
  - c) En el tercer enfoque hace relevancia a la implementación de sistemas de comunicación inalámbricos, para GPS, bluetooth, entre otros.
  - d) En su cuarta etapa se enfoca a la estética y moda, con el fin de ser más comercial y llamativo para el usuario.
  - e) Y en la actualidad las investigaciones se enfocan en desarrollar textiles de tercera generación con mayor efectividad y sustentabilidad, para que en un futuro sean reutilizables y reciclables.
9. Del análisis de evolución de los materiales textiles ultra inteligentes, en base a los diferentes artículos académicos y científicos, se ha identificado que surgieron a partir de la década de los 80 como productos ya factibles para el usuario, pero hay que recalcar que en algunos artículos se revela que las investigaciones empezaron en la década de los 60 y que tomaron gran importancia desde la década de los 90 con el proyecto de investigación de Geogía Tech, y que a partir de su surgimiento la tecnología de los materiales textiles ultra inteligentes ha ido mejorando con el pasar de los años hasta la actualidad, surgiendo más posibilidades de aplicación, en los diferentes campos de asistencia médica, defensa para soldados, deporte, comunicaciones y moda. El análisis realizado se muestra en la tabla 6.

10. Actualmente los textiles inteligentes han tomado gran importancia, de manera que existen muchos investigadores y empresas como Adidas, Biotex, entre otras que financian proyectos de investigación. Además de organizaciones que emplean esfuerzos para estandarizar procesos. Todas estas investigaciones están enfocadas en mejorar las características (confort, resistencia al lavado, a la luz, tiempo de vida, entre otros) de estos materiales de manera que en un futuro puedan formar parte de la vida cotidiana de las personas.

## **RECOMENDACIONES**

1. Al ser una materia bastante amplia los textiles inteligentes, se recomienda leer esta tesis como enfoque generalizado de los textiles inteligentes de tercera generación y su evolución en el tiempo, para de esta manera realizar una investigación en un campo de aplicación determinado y poder colaborar en un futuro con nuevas investigaciones y literatura.
2. La bibliografía mencionada en la presente tesis en su mayoría está en el idioma inglés, por lo que es muy importante que la persona tenga conocimientos básicos del idioma inglés.
3. Es importante adquirir, conocimientos previos al estudio del tema, de química, sistemas electrónicos, tecnología del tejido, medicina, deporte, sistemas de datos, entre otros, relacionados con los textiles ultra inteligentes.
4. Es recomendable guiarse por los principios determinados de los textiles ultra inteligentes para poder distinguir y diferenciar este tipo de productos, de las demás generaciones de materiales textiles.

5. Se recomienda el estudio de materiales textiles (fibras, tejidos) y la aplicación de la nano tecnología en los materiales textiles de tercera generación como temas de estudio dentro de la malla curricular de la carrera.
6. El desarrollo investigaciones e innovaciones dentro del campo de los textiles inteligentes en general necesitan de una gran inversión económica, el acceso a laboratorios de tecnología de avanzada y de profesionales especialidades. Por lo que el país y demás instituciones interesadas deben enfocar grandes esfuerzos económicos para el desarrollo de las investigaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ COTEC . (2014). Nuevos materiales textiles y tecnologías de aplicación en los textiles de uso técnico. En COTEC, *Textiles técnicos* (pág. 120). España: Gráficas Arias Montano, S. A.
- ✓ Textronics, Inc. (2016). *Textronics* . Obtenido de Textronics: <http://www.textronicsinc.com/>
- ✓ © Outlast Technologies LLC. (2014 ). *Outlast*. Obtenido de Outlast: <http://www.outlast.com/es/tecnologia/>
- ✓ Anne Schwarz-Pfeiffer, V. M. (2015). Optica Fibers. En X. Tao, *Handbook of smart textiles ( manual de textiles inteligentes)* (págs. 80-106). The Hong Kong Polytechnic University.
- ✓ Cho, G. (2010). *Smart Clothing, Technology and Applications*. United States of America: Taylor and Francis Group, LLC.
- ✓ Colchester, C. (2008 ). Textiles para el siglo XXI, estudio global . En C. Colchester, *Textiles today* (págs. 7-13). Art Blume, S.L.
- ✓ Colchester, C. (2008). Materiles. En C. Colchester, *Textiles: tendencias actuales y tradicionales* (pág. 28). Bume.

- ✓ Crocker, C. (2012). Capítulo 89 Industria de productos textiles. En A. N. Lee Ivester, *Industrias textiles y de la confección*. D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). Obtenido de <http://site.ebrary.com/lib/utnortesp/reader.action?docID=10626112&ppg=25>
- ✓ Diamond, S. C. (2013). Medical applications of smart textiles . En T. Dias, *Electronic Textiles* (págs. 420-439). Ireland : Dublin City University .
- ✓ Enríquez, M. d. (2013). *Análisis de textiles: curso básico*. México: Trillas.
- ✓ Flores Torres, D. I. (21 de Julio de 2011). Hilatura de fibras largas . *Elaboración de una guía didáctica virtual para los procesos de hilatura de fibras largas*. Ibarra, Imbabura, Ecuador : Repositorio digital UTN.
- ✓ Ghosh, H. A. (2015). Textile Sensors. En X. Tao, *Manual de textiles inteligentes (Handbook of smart textiles)* (págs. 358-375). Xioming Tao .
- ✓ Guillén, P. J. (2000). *nuevos desarrollos en fibras químicas* . Terrassa: Universidad Politécnica de Catalunya.
- ✓ Hamdani, S. T. (2015). The Application of a Piezo-Resistive Cardiorespiratory Sensor System in an Automobile Safety Belt. *Sensors (Basel, Switzerland)*. Obtenido de <http://doi.org/10.3390/s150407742>
- ✓ Jingyuan Cheng, O. A. (2010). Active Capacitive Sensing: Exploring a New. *Embedded Systems Lab, University of Passau*.
- ✓ kusters. (July de 2000). Components and Concepts. *United Tchnologies for textiles Processing*. Plano Druck, Düsseldorf.
- ✓ Langenhove, L. V. (2015). Smart Textiles: Past, Present, and Future. En X. Tao, *Handbook of smart textiles* (págs. 1038,1039). Xioming Tao.
- ✓ Larrañaga, J. P. (2010). Apertura, Limpieza, Mezcla . En J. P. Larrañaga, *Hilatura: primera parte : primera parte* (págs. 33-34). Instituto Politécnico Nacional .
- ✓ Lavado, F. E. (2012). Hilandería. En F. E. Lavado, *La industria textil y su control de calidad* (pág. 15). licencia copyleft.

- ✓ Lee Ivester, A. N. (2012). producción del hilo de algodón . En A. N. Lee Ivester, *Capítulo 89 Industria de productos textiles* (pág. 89.10). D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).
- ✓ Lieva Van Langenhove, C. H. (2012). Smart Textiles: An Overview. En S. j. Paul Kiekens, *Intelligent Textiles and Clothing for Ballistic and NBC Protection: Thechnology at the Cutting Edge* (pág. 121). Split, Croatia: Springer. doi:10.1007/978-94-007-0576-0
- ✓ Lieva Van Langenhove, C. H. (2012). Smart textiles: An Overview . En S. J. Paul Kiekens, *Intelligent textiles and Clothing for ballistics and NBC Protection* (pág. 129). NATO Science for Peace and Security Series-B: Physics and Biophysics.
- ✓ Lockuán Lavado, F. E. (2015). V. Tintorería. En F. E. Lockuán, *LA IINDUSTRIIA TEXTIIL Y SU CONTROL DE CALIIDAD*. Fidel Eduardo Lockuán Lavado.
- ✓ Lockuán, F. (2013). Fibras textiles . En F. Lockuán, *La industria textil y su control de calidad* (págs. 2-3).
- ✓ Lockuán, F. E. (2012). VI. Ennoblecimiento textil. En F. E. Lockuán, *LA IINDUSTRIIA TEXTIIL Y SU CONTROL DE CALIIDAD*. 3-4: Fidel Eduardo Lockuán Lavado.
- ✓ Lokuán, F. E. (2012). IV Tejeduría. En L. L. Eduardo, *la industria textil y su control de calidad*.
- ✓ Martín, J. C. (02 de 05 de 2016). *RED TEXTIL ARGENTINA*. Obtenido de [ttp://www.redtextilargentina.com.ar](http://www.redtextilargentina.com.ar)
- ✓ Martín, M. S. (2010). Tecnología para tu cuerpo. En M. S. Martín, *El futuro de la moda. Tecnologia y nuevos materiales* (pág. 164). maomao publications.
- ✓ Martín, M. S. (2010). Tecnología para tu cuerpo . En M. San Martín, *El futuro de la moda*. promopres.
- ✓ Martín, M. S. (2010). Telas y materiales . En M. S. Martín, *El futuro de la moda: tecnología y nuevos materiales* (pág. 29). Promopress.
- ✓ Matteo Stoppa, A. C. (2014). Electronicos Vestibles y Textiles Tnteligentes: resita critica (wearable Electronics and Smart Textils: A critical review). *Sensors*, 12.

- ✓ Neefus, A. L. (2001). Industria de procesos textiles. *Enciclopedia de la OIT*, 89.2.
- ✓ Niyogi, J. S. (2012). TINCION, ESTAMPADO Y ACABADO. En A. N. Lee Ivester, *Capítulo 89 Industria de productos textiles. En: enciclopedia de la OIT* (págs. 18-19). D - INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo).
- ✓ Paul KIEKENS, L. V. (2004). SMART CLOTHING: A NEW LIFE (Ropa Inteligente: una nueva vida) . *International Journal of Clothing Science and Technology*.
- ✓ Pesok Melo, J. C. (2012 ). Tejeduría. En J. C. Pesok Melo, *Introducción a la tecnología textil* (págs. 145-148). D - Universidad de la República .
- ✓ Pesok Melo, J. C. (2012). Hilatura de fibras discontinuas . En J. C. Pesok Melo, *Introducción a la tecnología textil* (pág. 89). D - Universidad de la República .
- ✓ R. Nayak, L. W. (2015). textiles electronicos para personal militar . En T. Dias, *textiles electronicos* (pág. 240). WOODHEAD PUBLISHING .
- ✓ Schoeller Technologies AG. (septiembre de 2014). *Schoeller*. Obtenido de Schoeller: [www.nano-sphere.ch](http://www.nano-sphere.ch)
- ✓ Scholler textiles AG. (December de 2014). *Schoeller*. Obtenido de Schoeller: [www.c-change.ch](http://www.c-change.ch)
- ✓ Shirley Coye, Y. W.-T. (2007 ). Nano textiles inteligentes (Smart Nanotextiles). *University of Wollongong*, 4.
- ✓ Sweden, H. H. (Junio de 2010). literatura y una vision conjunta de textiles inteligentes ( literature e over view of smart textiles). universidad de Boras Swedish School of textiles .
- ✓ Swiss Shield® yarns. (2016). *Swiss Shield® yarns*. Obtenido de Swiss Shield® yarns for textiles with: <http://www.swiss-shield.ch/Yarns-Textiles.61.0.html?&L=1>
- ✓ Tae-Ho Kang, C. M. (2006). *Los sensores en sustratos textiles para el monitoreo basado en el hogar Salud (Sensors on Textile Substrates for Home-Based Healthcare Monitorin)*. Arlington, Virginia, USA,,: Proceedings of the 1st Distributed Diagnosis and Home Healthcare (D2H2) Conference. Obtenido de [http://www.ece.ncsu.edu/erl/html2/papers/paulf/2006/paulf\\_2006\\_kang.pdf](http://www.ece.ncsu.edu/erl/html2/papers/paulf/2006/paulf_2006_kang.pdf)

- ✓ Tao, X. (2001). Smart technology for textiles and clothing—introduction and overview. En Elsevier, *Smart fibres, fabrics and clothing: fundamentals and applications*. (págs. 2-3). Tao, X.M.
- ✓ The Textile Institute. (2012). Applications of natural fibres and case studies. En U. o. A. Baltazar-Y-jimenes and M. Sain, & R. M. Kozlowski (Ed.), *Handbook ok natural fibres* (Vol. II, pág. 221). Oxford Cambridge Philadelpfhia New Delhi: Ryszard M. Kozlowski.
- ✓ Umwelt Bundes Amt . (2013). Uso de nano materiles en textiles . *FACT SHEET NANO PRODUCTS*, 3.
- ✓ Wei Ch., Z. Z. (2015). Flexible Actuators. En X. Tao, *Handbook of smart textiles* (págs. 382- 409). Xiaoming Tao .
- ✓ Kandasubramanian, B., & Ramdayal, M. (2013). advancement in textile technology for defence application. *Defence Science Journal*, 63(3), 331.
- ✓ Stoppa, M., & Chiolerio, A. (2014). Wearable electronics and smart textiles: a critical review. *Sensors*, 14(7), 11957-11992.
- ✓ Berzowska, J. (2005). Electronic textiles: Wearable computers, reactive fashion, and soft computation. *Textile*, 3(1), 58-75.
- ✓ Henock, D. (2011). Literature over view of smart textiles.
- ✓ Coyle, S., Wu, Y., Lau, K. T., De Rossi, D., Wallace, G., & Diamond, D. (2007). Smart nanotextiles: a review of materials and applications. *Mrs Bulletin*, 32(05), 434-442.