



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# *Efecto del $TiO_2$ en las propiedades de los tejidos de algodón*

---

**MEMORIA PRESENTADA POR:**  
*Beatriz María Aguilar Vásquez*

*MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA TEXTIL*

Convocatoria de defensa: [Marzo, 2018]

## **Resumen**

El efecto sobre las propiedades del tejido y la acción autolimpiante del  $\text{TiO}_2$  utilizando resina acrílica como aglutinante, se ha evaluado en un tejido de algodón utilizando un método de impregnación y curado en seco. Se usaron diferentes concentraciones del nano polvo y aglutinante para determinar el efecto combinado de estos dos productos. Pruebas de resistencia a la tracción, el coeficiente de plegado y la permeabilidad al aire se realizaron en la tela. Posteriormente, las muestras se tiñeron con una solución de café y se expusieron a la luz UV durante un período de tiempo. Las propiedades de la tela se midieron de nuevo. Se encontró que en presencia de luz UV, la  $\text{TiO}_2$  cataliza una foto degradación de la celulosa y que este efecto se reduce cuando se usa resina acrílica. Con respecto a la acción autolimpiante, se concluyó que el efecto es mejor cuando la concentración de  $\text{TiO}_2$  es más alta y cuando la concentración de resina también es mayor debido a un mejor enlace del nano polvo con la tela.

## **Summary**

The effect on the fabric properties and self cleaning action of  $\text{TiO}_2$  with acrylic resin as binder has been assessed on cotton fabric using a pad-dry-cure method. Different concentrations of the nano powder and the binder were use in order the determine the combine effect of this two products. Tensile strength, drape coefficient and air permeability test were performed on the fabric. Afterwards, the samples were stained with a coffee solution and exposed to UV light for a period of time. Fabric properties were measured again. It was found that in presence of UV light, the  $\text{TiO}_2$  catalyzes a photo degradation of the cellulose and that this effect is reduced when acrylic resin is used. In regards of self cleaning action, it was concluded that the effect is better when the  $\text{TiO}_2$  concentration is higher and when the resin concentration is also higher due to a better bind of the nano powder to the fabric.

**Palabras clave:** Tejido autolimpiante, dióxido de titanio, resina acrílica, tratamiento ultravioleta.

## **CONTENIDOS**

<b>CONTENIDOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>2. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>9</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. OBJETIVOS PARCIALES.....</b>	<b>12</b>
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1. MATERIALES.....</b>	<b>12</b>
<b>4.2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
4.2.1 Preparación de las muestras.....	13
4.2.2. Caída del tejido.....	14
4.2.3. Fuerza de desgarro .....	15
4.2.4. Permeabilidad al aire.....	16
4.2.5. Efecto de autolimpieza.....	17
4.2.6. Durabilidad del efecto de autolimpieza .....	19
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>5.1. CAÍDA DEL TEJIDO.....</b>	<b>20</b>
<b>5.2. FUERZA DE DESGARRO .....</b>	<b>22</b>
<b>5.3. PERMEABILIDAD AL AIRE.....</b>	<b>25</b>
<b>5.4. EFECTO DE AUTOLIMPIEZA.....</b>	<b>27</b>
<b>5.5. DURABILIDAD DEL EFECTO DE AUTOLIMPIEZA.....</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>32</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>34</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

El interés en la investigación del uso de la nanotecnología en la industria textil ha aumentado en la última década. El objetivo del tratamiento de textiles con nano materiales es, principalmente, producir tejidos acabados con diferentes prestaciones funcionales.

Las nanopartículas son materiales de 1 a 100 nm de diámetro [El-Drieny et al., 2015]. Estas dimensiones les dan propiedades y comportamientos específicos que en la macroescala no podrían tener, tales como propiedades magnéticas, ópticas, mecánicas y eléctricas.

Una de las razones que vuelven a la nanotecnología tan atractiva en la industria textil es que los métodos convencionales utilizados para funcionalizar los tejidos, a menudo no producen efectos permanentes y tienden a perder sus funciones después del lavado o el uso. La nanotecnología por su parte puede proporcionar propiedades de gran durabilidad, esto debido a que las nanopartículas tienen una gran relación superficie/volumen y una alta energía superficial, presentando así una mejor afinidad por las telas y aumentando la durabilidad de la funcionalización.

El término otorgado al resultado de tratar un textil con un nanomaterial es nanotextil. Más específicamente, éste se podría definir como un textil formado por un material en la nano-escala en alguna de sus dimensiones externas o estructuras internas, y que le permitirá obtener funcionalidades distintas a las del mismo material a escala convencional. En la figura 1 se observa como están distribuidos los nanotextiles de acuerdo al uso final que tienen:

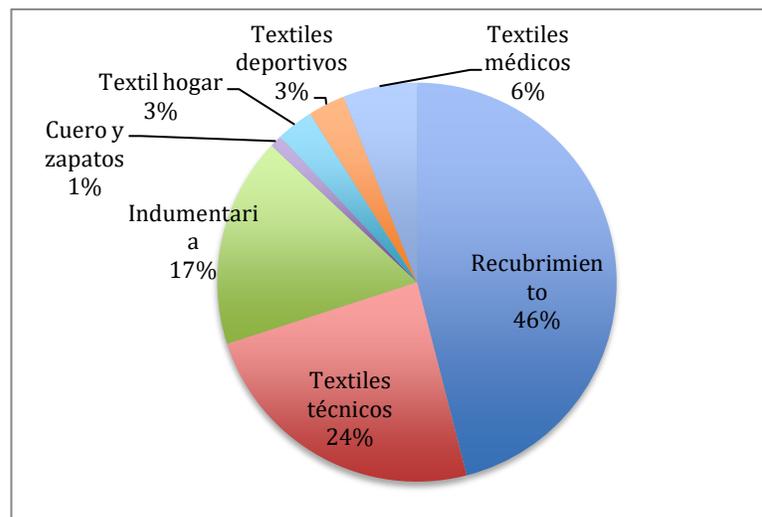


Figura 1. Clasificación de los nanotextiles según su uso final [Assessment of Nanotechnologys Role in Textile Industry, 2015]

Los nanotextiles son incluidos en lo que ahora se conoce como textiles inteligentes. El término textil inteligente se deriva del término material inteligente el cual se define como un material altamente ingenieril que responde a los estímulos del medio ambiente [Addington, et. al. 2005].

A continuación, en la figura 2 y tabla 1, se muestran algunos de los nanomateriales más utilizados en la industria textil y las propiedades que estos son capaces de aportar a los tejidos:

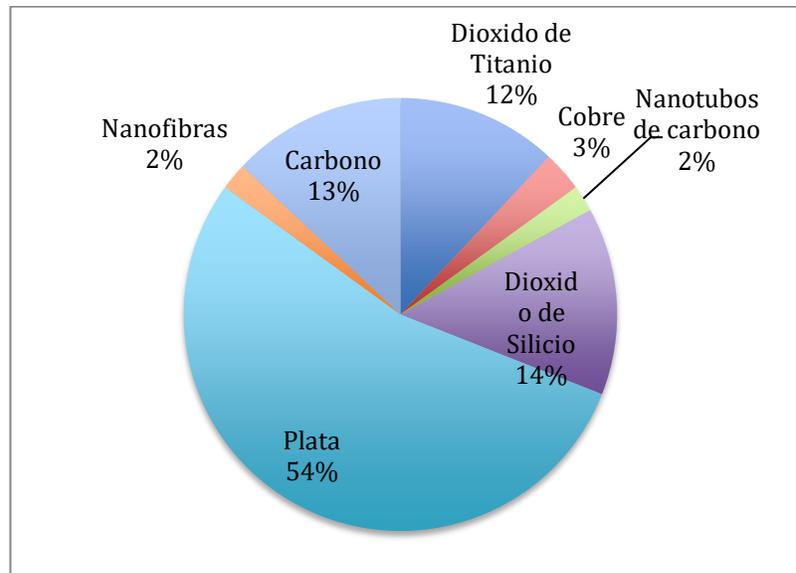


Figura 2. Nanomateriales utilizados en el sector textil [Assessment of Nanotechnology's Role in Textile Industry, 2015]

Tabla 1. Nanomateriales utilizados en el sector textil

Nanomaterial	Aumentar conductividad	Antimicrobiano /Antibacteriano	Protección UV	Autolimpieza
Nanoalambres de plata	X	X	X	
Nanopartículas de dióxido de titanio		X	X	X
Nanopartículas de cobre	X	X		
Nanopartículas de oro	X		X	
Nanopartículas de óxido de silicio			x	
Nanopartículas de óxido de zinc		X	X	

Uno de los nanomateriales más utilizados en la industria es el Dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ). El titanio es un elemento de transición de baja densidad, lustroso y blanco, altamente resistente a la corrosión, anfótero y muy estable químicamente. Está disponible en la forma de óxido de titanio, dióxido de titanio, trióxido de titanio y pentóxido de titanio.

El  $\text{TiO}_2$  es un material adecuado para su uso industrial debido a su no toxicidad y bajo coste. Éste existe en formas amorfas y cristalinas. La forma amorfa es fotocatalíticamente inactiva. Por otro lado, existen tres formas cristalinas naturales de  $\text{TiO}_2$ : anatasa, rutilo y brookita. Las formas de Anatasa y rutilo tienen una estructura tetragonal, mientras que la estructura de brookita es ortorómbica. La Brookita es menos común que las dos otras formas y es mucho más difícil de obtener. La Anatasa y el rutilo son fotocatalíticamente activos, mientras que a la brookita nunca se le ha comprobado actividad fotocatalítica.

En su formas de nano material cristalino, el  $\text{TiO}_2$  representa un importante producto comercial, cuando el tamaño es menor a 100 nm. La reflectancia de la luz visible disminuye y el material se vuelve más transparente mientras que exhibe una absorción alta de la radiación ultravioleta [Chaudhari, et al. 2012]

La propiedad mas importante que se le atribuye al  $\text{TiO}_2$  es su capacidad de auto limpieza. Este efecto se logra ya que el tratamiento con este material puede generar dos distintas situaciones:

1. La generación de superficies microscópicamente rugosas y extremadamente repelentes al agua. Cuando esto ocurre, las partículas de suciedad difícilmente pueden unirse al tejido y por lo tanto, son eliminadas por un simple enjuague.
2. La creación de las capas fotocatalíticas. La razón por la cual esto ocurre se puede analizar en la figura 3 a continuación:

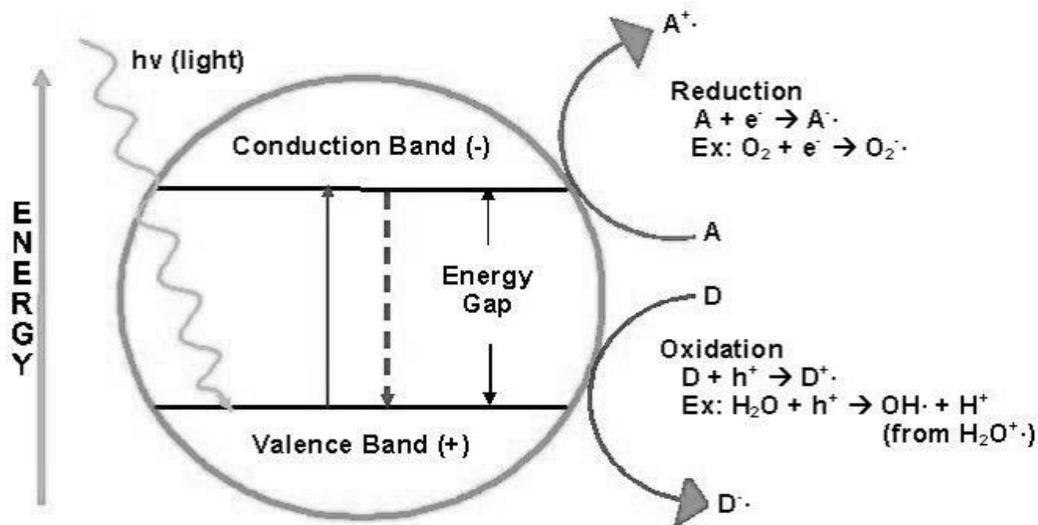


Figura 3. Mecanismo de la acción auto limpiante del TiO<sub>2</sub> [Parkan, et.al. 2010]

Cuando una superficie tratada con un material fotocatalítico como el dióxido de titanio, es expuesta a la luz UV, se genera una excitación de los electrones en la banda de valencia y estos saltan a la banda de conducción, resultando en la formación de un agujero positivo (p+) en la banda de valencia y la ganancia de un electrón (e-) por parte de la banda de conducción. El agujero positivo oxida los contaminantes para producir radicales HO<sup>·</sup>, mientras que el electrón en la banda de conducción reduce al oxígeno adsorbido al fotocatalizador.

Es importante mencionar que dado que el TiO<sub>2</sub> solo actúa como catalizador, este no se agota y puede seguir actuando durante exposiciones posteriores. Esto lleva a valorar otra de las bondades de este producto ya que en la actualidad, los materiales reutilizables, sin residuos y en general amigables con el medio ambiente, son lo que más se busca.

Esta propiedad de auto limpieza del TiO<sub>2</sub> puede ser aprovechada en prácticamente cualquier tipo de fibra. Sin embargo resulta de gran interés evaluar los resultados en tejidos 100% algodón. Esto es debido a que gran parte de la indumentaria y del textil hogar se fabrican con este tipo de fibras.

La fibra de algodón es en su mayoría celulosa, un polímero natural formado únicamente por unidades de glucosa lo que lo convierten en un homopolisacárido. Con esta fibra es posible obtener tejidos con suavidad y permeabilidad al aire lo que la ha hecho la fibra natural más popular del mundo [Huang, et. al. 2004].

La mayoría de las reacciones de celulosa son heterogéneas y se pueden dividir en derivadas y degradativas. Las reacciones de degradación incluyen hidrólisis ácida, degradación térmica, degradación alcalina y degradación fotocatalítica. [Zuluaga, et.al. 2009].

En el proceso fotocatalítico, se emplea un semiconductor como catalizador para degradar los compuestos orgánicos bajo la activación de la luz ultravioleta (UV). Entre los fotocatalizadores el nano  $\text{TiO}_2$  es el mas popular siendo reconocido como el fotocatalizador más eficiente, no tóxico y estable.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Tal como se mencionó en el apartado anterior, los nano materiales están siendo utilizados para incluir prestaciones a los tejidos y en el caso particular de tejidos de algodón, se puede aportar protección UV, acción antibacteriana, propiedades de auto-limpieza y también mejorar propiedades como la absorción, transpirabilidad y suavidad [Saad, et al. 2014].

Debido a esto, existen diferentes aplicaciones de este producto en este tipo de tejidos. Los autores Lam, et al. [Lam, et al. 2011] estudiaron el uso de  $\text{TiO}_2$  o nano- $\text{TiO}_2$  como cocatalizador en una formulación retardante de la llama para tejidos de algodón. Ellos descubrieron que el uso de este producto tuvo un efecto significativo en la disminución de la tasa de propagación de la llama y, al mismo tiempo, evita la reducción en la resistencia a la tracción en el tejido, debido a que las nanopartículas de este metal se adhieren a la superficie de la tela y que se llenan los espacios entre las fibras de aumentar la fricción del hilo.

Yuen, et. al. [Yuen, et al. 2009] encontraron que la adición de  $\text{TiO}_2$  nano podría aumentar la resistencia a la formación de arrugas y disminuir la longitud de flexión de la tela de algodón debido a sus propiedades fotocatalíticas y la presencia del nano polvo entre las fibras lo que restringe su hinchamiento, reduciendo de este modo la rigidez de la tela. Uso de múltiples capas de  $\text{TiO}_2$  nano sobre tejidos de algodón se estudió por Uğur, et al. [Uğur, et al. 2011], la búsqueda de este exhibió una protección UV muy atractiva debido a que el polvo permite una absorción eficiente de la energía UV y la dispersión de la misma en diferentes medios.

Chen, et. al. [Cheng, et. al. 2006] utilizaron el  $\text{TiO}_2$  para catalizar una reacción entre el ácido succínico y la celulosa de un tejido disminuyendo las propiedades de tracción del tejido pero aumentado su conductividad.

Los autores Veronovski, et al. [Veronovski, et al. 2009] centraron sus investigaciones en la obtención de propiedades de auto-limpieza para superficies de celulosa regenerados por nano-modificación, el uso de  $\text{TiO}_2$  nano-recubrimiento y para definir el impacto de la modificación en las propiedades de uso final de telas. La acción de autolimpieza del  $\text{TiO}_2$  es debido a que este es un óxido activo fotocatalíticamente de un metal de transición. Cuando este se utiliza para recubrir un tejido, este reacciona bajo los efectos de la exposición a la luz solar, en particular la radiación ultravioleta, y se descompone en compuestos que se depositan sobre el material textil.

Se encontró que los tratamientos de superficie con  $\text{TiO}_2$  podrían alterar no sólo morfología de la superficie, sino también las propiedades mecánicas. Estos tratamientos aumentan la fricción de la superficie, rugosidad geométrica y el espesor de todo por el polvo de nano llenando los espacios entre las fibras de las telas. Los autores Kale, et. al. [Kale, et. al. 2016], realizaron un recubrimiento de tejidos de algodón utilizando como una dispersión de celulosa  $\text{TiO}_2$  en ácido sulfúrico y obtuvieron que este tratamiento ayudaba a mejorar las propiedades de tracción del tejido mientras que la permeabilidad al aire y al agua no resultaban afectadas. Estos autores también observaron que en cuanto a la durabilidad de un tratamiento con  $\text{TiO}_2$ , que para diferentes concentraciones era posible mantener las propiedades de auto limpieza incluso hasta después de 10 lavados cuando se realizaba un recubrimiento con  $\text{TiO}_2$

Las investigaciones también han estado estudiando varias formas y productos auxiliares para aplicar las  $\text{TiO}_2$  sobre las telas.

Por ejemplo, Gupta, et al. [Gupta, et al. 2008] utilizaron un proceso sol-gel para sintetizar el nanomaterial e incorporarlo a la tela. En general, el proceso sol-gel consiste en la transición de un sistema o suspensión coloidal de partículas sólidas con tamaño nanométrico que está en esta condición gracias al movimiento Browniano (fase sol), a un estado constituido por al menos dos fases, con la fase líquida atrapada e inmovilizada por la fase sólida (fase gel) [Fernández, et.al. 2007].

Los autores Bonet, et al. [Bonet, et al. 2015] estudiaron la comparación de tratamiento de pulverización e impregnación al aplicar nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  sobre textiles obteniendo mejores resultados con la impregnación. También compararon dos productos auxiliares diferentes para unir las partículas sobre las fibras, una resina acrílica y el ácido 1,2,3,4-butanotetracarboxílico ácido policarboxílico (BTCA) en presencia de hipofosfito de sodio concluyendo que la resina funcionaba mejor como producto auxiliar.

Por su parte Rahman, et al. [Rahman, et al. 2015] utilizaron el método de agotamiento seguido de procesos de curado y de lavado posteriores para la funcionalización con  $\text{TiO}_2$ .

Pakde, et. al. [Pakde, et. al. 2003] estudiaron la utilización de  $\text{TiO}_2$  combinado en partes iguales con  $\text{SiO}_2$  obteniendo una mejora en las propiedades de autolimpieza de un tejido de algodón dado que hay una actividad fotocatalítica mayor.

Samal, et. al. [Samal, et.al. 2010] por su parte, investigaron utilizar el  $\text{TiO}_2$  junto a nanopartículas de plata lo cual resultó en una mejora en de las propiedades antibacteriana del tejido al mismo tiempo que se aumento su hidrofiliidad y conductividad.

Basándose en los resultados obtenidos anteriormente, la presente investigación representa un intento de evaluar el resultado de utilizar un proceso de impregnación y diferentes concentraciones de una resina acrílica para unir las  $\text{TiO}_2$  nano a un tejido de algodón. Al mismo tiempo, diferentes concentraciones de  $\text{TiO}_2$  fueron consideradas con el fin de determinar el efecto combinado de resina de  $\text{TiO}_2$  + Resina sobre el coeficiente de caída, fuerza de desgarro y permeabilidad al aire de la tela. También se evaluó la acción de auto-limpieza del acabado.

La contribución de esta investigación a la literatura es que muestra no sólo el efecto del  $\text{TiO}_2$  en tejidos, sino también el efecto de usar resina acrílica como producto auxiliar. Al mismo tiempo, se propone una concentración adecuada de este material, que es algo que no se ha investigado en el pasado. Otra contribución importante de esta investigación, es que muestra cómo el tratamiento UV afecta a las propiedades de la tela cuando hay presencia de  $\text{TiO}_2$ .

Los resultados obtenidos son satisfactorios y conducen a la posibilidad de utilizar estos métodos y materiales para aplicar nano partículas de  $\text{TiO}_2$  sobre tejidos con una fácil operación, buena reproducción, alta tasa de fijación y la mejorando de las propiedades de la tela.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

El principal objetivo de este trabajo es estudiar la influencia de la cantidad de nanopartículas de TiO<sub>2</sub> y resina utilizada para el tratamiento autolimpiante del tejido de algodón, así como las posibles modificaciones de confortabilidad que pueden ser suceder debido al tratamiento.

#### **3.2. OBJETIVOS PARCIALES**

A continuación se describen las acciones y objetivos parciales que han de llevar a término con tal de alcanzar dicho objetivo:

1. Obtener muestras con diferentes concentraciones de TiO<sub>2</sub> y resina acrílica haciendo uso de un proceso de impregnación y curado en seco para la posterior evaluación de la propiedad de autolimpieza del TiO<sub>2</sub> y la realización de una serie de pruebas de confort de un tejido 100% algodón antes y después de realizar una exposición ultravioleta.
2. Determinar si la resina acrílica es un producto auxiliar efectivo para incorporar el nanomaterial al tejido.
3. Analizar la caída del tejido, la fuerza de desgarro, permeabilidad al aire y el efecto de autolimpieza antes y después de someter el tejido a una exposición ultravioleta.
4. Verificar cuales son los efectos de la concentración de resina sobre las propiedades de confort y el efecto autolimpieza.
5. Verificar cuales son los efectos del dióxido de titanio sobre las propiedades de confort del tejido.
6. Verificar la durabilidad de la impregnación aplicada sobre el tejido y si se conserva el efecto autolimpieza.

### **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.1. MATERIALES**

Para este estudio se utilizó un tejido de calada 100% algodón, 108 g/m<sup>2</sup>, densidad de urdimbre de 62 hilos/cm y la densidad de trama de 41 hilos/cm.

La forma de TiO<sub>2</sub> utilizado fue titanio (IV), óxido de mezcla de rutilo y anatasa, nanopolvo de tamaño de partícula <100 nm (BET), 99,5% base de metales traza de Sigma Aldrich.

Es importante mencionar que solo se contaba con aproximadamente 16 g de este material a la hora de realizar la investigación y por tanto éste se convirtió en el reactivo limitante y a partir del cual se definieron la cantidad de concentraciones de TiO<sub>2</sub> a evaluar. Como resina, se utilizó la dispersión acrílica Arristan Sac 10FF de BEZEMA.

## 4.2. METODOLOGÍA

### 4.2.1 Preparación de las muestras

Se prepararon nueve baños con combinaciones diferentes de productos químicos. La determinación de las concentraciones se hizo en base a propuestas estudiadas por autores tales como Chaudhari, et. al. [Chaudhari, et. al. 2012] quien trabajó con concentraciones de TiO<sub>2</sub> de 2, 4, 6, 8 y 10 g/l obteniendo resultados interesantes para los valores de 6 y 10 g/l. Por otra parte, Sundaresan, et. al. [Sundaresan, et. al. 2016] trabajó la concentración de TiO<sub>2</sub> en el rango de 1 a 5 g/l. Se decidió entonces que para la presente investigación se trabajaría con las concentraciones de 5 y 10 g/l. En cuanto a la resina acrílica, los autores Sarathi, et. al. [Sarathi, et. al., 2009] trabajaron con concentraciones entre 45 y 55 g/l. Se consideró que se podía disminuir esta concentración y se optó por trabajar con los valores de 20 y 40 g/l. Una vez se prepararon las soluciones, éstas se dispersaron durante 15 minutos usando un limpiador ultrasónico de United (220V, 200W, 40 KHz). Todas las mediciones se realizaron por triplicado y el promedio de estos es el valor que se ha tomado en consideración.

La Tabla 2 describe las concentraciones de TiO<sub>2</sub> y resina acrílica que se utilizaron:

*Tabla 2. Concentraciones de TiO<sub>2</sub> y el resina acrílica utilizadas*

<b>Nombre de la muestra</b>	<b>Concentración de TiO<sub>2</sub> (g/l)</b>	<b>Concentración de resina (g/l)</b>
0T0B	0	0
5T0B	5	0
10T0B	10	0
0T20B	0	20
5T20B	5	20
10T20B	10	20
0T40B	0	40
5T40B	5	40
10T40B	10	40

La preparación de las muestras consistió en un proceso de impregnación regular. Las muestras fueron tratadas a 1 atm de presión y una velocidad de 0,5 m/s. El pick up se mantuvo alrededor a 95% durante todo el proceso.

Posteriormente, las muestras se secaron durante 4 minutos a 80°C y luego se curaron a 150°C durante 3 minutos. Después del tratamiento, las muestras se mantuvieron en la oscuridad para evitar la activación del dióxido de titanio. En todas las muestras se realizaron diferentes pruebas tanto de confort como rendimiento antes y después de la exposición a la luz UV. Dichas pruebas se describen a continuación.

#### **4.2.2. Caída del tejido**

Uno de los parámetros a evaluar para determinar la modificación del confort del textil después de cada uno de los tratamientos, es el coeficiente de caída del tejido.

Para esta evaluación se utilizó el aparato M213 de SDL Atlas y de acuerdo al estándar *Métodos de ensayo para los no tejidos. Parte 9: Evaluación de la caída incluyendo el coeficiente de caída. (ISO 9073-9: 2008)*

La prueba consiste en colocar una muestra de forma circular de tamaño estándar que depende del peso del tejido, sobre un plato más grande que la muestra. Al cerrar el aparato, la parte mas externa del plato baja, de manera que las orillas de la muestra caen. Dado que el aparato esta equipado con una lámpara en la parte inferior, la parte de la muestra que cae genera una sombra la cual se dibuja sobre un aro de papel de tamaño y peso estándar y conocido. Se procede entonces a recortar el papel siguiendo la sombra dibujada y posteriormente se pesa. El coeficiente de caída es calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Coeficiente de caída (\%)} = 100 * \frac{P2}{P1}$$

Donde:

P1= Peso del papel completo antes del dibujado de la sombra

P2= Peso del papel recortado después del dibujado de la sombra



Figura 4. Aparato M213 de SDL Atlas para la evaluación de la caída

#### 4.2.3. Fuerza de desgarro

La resistencia al rasgado es la capacidad de una tela para resistir la fuerza que se requiere para propagar un desgarro después de iniciado.

Esta propiedad fue evaluada con medidor de tracción AG-Xplus Series 100 kN de Shimadzu y de acuerdo al estándar *Propiedades de los tejidos frente al desgarro. Parte 2: Determinación de la fuerza de desgarro de probetas con forma de pantalón (Método de desgarro único)*. (ISO 13937-2:2000)

La prueba se realiza sobre una muestra rectangular que se corta en el centro del borde más corto para formar una forma de pantalón. Las piernas del pantalón se sujetan en las abrazaderas del aparato de ensayo para formar una línea recta y se tira en la dirección del corte para rasgar la tela. La fuerza para continuar la rasgadura en una distancia especificada se registra. La fuerza de desgarro se calcula a partir del promedio de los picos de fuerza haciendo uso de un ordenador

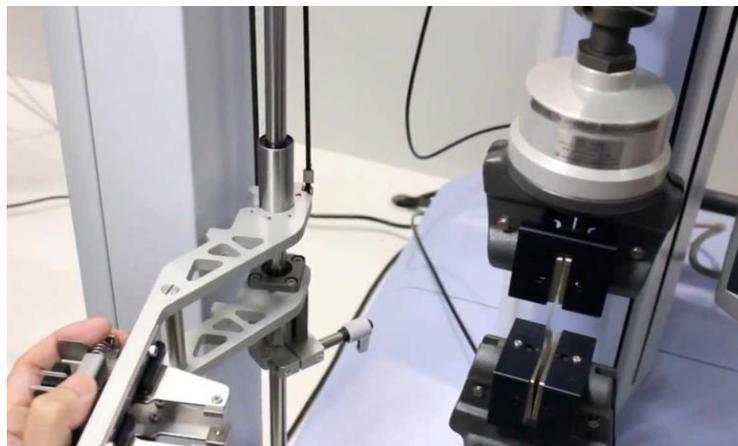


Figura 5. Determinación de la fuerza de desgarro de probetas con forma de pantalón

#### 4.2.4. Permeabilidad al aire

Dado que el empleo de resina en el tratamiento puede obstaculizar o recubrir la porosidad del tejido por los intersticios creados por el entrecruzamiento de los hilos, la permeabilidad del aire resulta afectada por lo que es importante medir esta propiedad de la tela.

Para la prueba de permeabilidad al aire, se utilizó probador GK-6 de Gateslab y se realizó de acuerdo al estándar *Determinación de la permeabilidad al aire de los tejidos. (ISO 9237: 1995)*

Dicha prueba consiste en medir el flujo de aire capaz de pasar a través de una muestra circular de tejido de tamaño estándar y a una presión determinada que depende del tipo de tejido. Para este estudio, se trabajó a 200 Pa de presión y un área de muestra de 20 cm<sup>2</sup>. Se sujeta firmemente la muestra al equipo haciendo uso de un porta muestras, asegurándose de que no hayan arrugas y que la superficie este lo más lisa posible. Se inicia la prueba haciendo pasar el aire de manera perpendicular y esta finaliza cuando ha transcurrido al menos un minuto y se observa una lectura de flujo estable.



Figura 6. Aparato GK-6 de Gateslab para la evaluación de la permeabilidad al aire

#### 4.2.5. Efecto de autolimpieza

Como se mencionó en los apartados anteriores, los tratamientos con  $\text{TiO}_2$  tienen un efecto de autolimpieza debido a sus propiedades fotocatalíticas. Para probar el este efecto fue necesaria la generación de una mancha o suciedad para evaluar la degradación de la misma. Para esto, se consideró la posibilidad utilizar diferentes productos alimenticios regulares. Las opciones eran Ketchup, vino y café soluble. Debido a la disponibilidad inmediata de café y a la fácil manipulación del mismo, se decidió finalmente trabajar con esta opción. De esta manera, se procedió a la preparación de una solución de café con una concentración de 10 g/l. Se cogieron 5 ml de dicha solución los cuales se colocaron sobre un vidrio de reloj donde se remojó cada una de las muestras procurando generar una mancha de forma circular. Después de esto, las muestras se secaron a temperatura ambiente.



Figura 7. Apariencia de las muestras después del manchado.

También se determinó que la degradación de la suciedad o la autolimpieza sería evaluada a través de un cambio en la medición del color del área ensuciada. Así es como, una vez secas las muestras, se realizó la medición inicial del color sobre el área manchada. El equipo utilizado para ello fue Datacolor 650 de Color Center. Posterior a esto, las muestras se expusieron a luz UV durante un período de 10 horas utilizando una lámpara ultravioleta ULTRA VITALUX 300W 230V E27 de Osram.



*Figura 8. Datacolor 650 de Color Center*

El tiempo de exposición es una variable clave para la evaluación de ésta propiedad. Los autores Chen, et. al. [Cheng, et. al. 2006] y Long, et. al. [Long, et.al. 2016] trabajaron bajo condiciones similares y consideraron tiempos de exposición de 5h y 8h respectivamente obteniendo cambios en el color de la mancha. En base a esto se decidió extender la exposición a 10h para observar el efecto de esto sobre los resultados. Para dicha exposición se utilizó una caja de cartón de 50x50x45 cm cuyas paredes internas fueron recubiertas con papel plata. La lámpara se colocó dentro de la caja y se expusieron las muestras asegurando que siempre la distancia entre éstas y la lámpara fuera de aproximadamente 25 cm. Una vez completada la exposición, las mediciones de color se realizaron de nuevo en las zonas manchadas. Estos últimos valores se compararon con los iniciales para cuantificar la acción de autolimpieza del  $\text{TiO}_2$  sobre cada muestra.



Figura 9. Lámpara ultravioleta ULTRA VITALUX 300W 230V E27 de Osram para la exposición

#### 4.2.6. Durabilidad del efecto de autolimpieza

La utilización de resina en el tratamiento permite mejorar la adherencia de las nanopartículas a las fibras, mejorando con ello la durabilidad del efecto autolimpieza siendo necesario realizar una prueba que permitiera la cuantificación de dicha durabilidad. En este caso se tuvo la limitante del tiempo y no era posible realizar la prueba en todas las muestras. Es por esto que se determinó que la muestra que mostró los mejores resultados de autolimpieza, sería a la cual se le aplicaría la prueba de durabilidad. Dicha prueba consistió en la aplicación 5 ciclos de lavado a 40°C durante 30 min con una máquina lavadora del tipo de laboratorio Gyrowash de James Heal, y de acuerdo con a la norma *Ensayos de solidez de las tinturas. Parte C01: solidez de las tinturas al lavado. Ensayo 1. (ISO 105-C01:1989). (Versión oficial EN 20105-C01:1992).*, utilizando jabón de norma británica sin abrillantadores ópticos. El proceso de manchado con café y evaluación de color se repitieron en el tejido lavado.



Figura 10. Máquina lavadora del tipo de laboratorio Gyrowash de James Heal

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran los resultados de todas las pruebas realizadas en el tejido, se comentan los resultados obtenidos y se trata de explicar los motivos que condujeron a la obtención de dichos resultados.

Para todas las propiedades evaluadas, se hace un análisis del comportamiento de la propiedad con respecto a la concentración del TiO<sub>2</sub> y de la resina acrílica.

### 5.1. CAÍDA DEL TEJIDO.

Para verificar el efecto del tratamiento sobre las propiedades de confort de la tela, se midió la caída de la tela. Como mencionó anteriormente, lo que se mide con esta prueba es el coeficiente de caída de la tela y este caso se realizó antes y después de la exposición a la luz UV.

Los resultados obtenidos para la prueba de caída se muestran en la Tabla 3:

*Tabla 3. Resultados de la prueba de Caída*

Muestra	Coeficiente de caída antes de UV (%)	Coeficiente de caída después de UV (%)
0T0B	21,96	26,95
5T0B	23,44	28,13
10T0B	25,26	28,26
0T20B	31,54	35,94
5T20B	29,06	34,18
10T20B	28,12	33,07
0T40B	31,37	35,94
5T40B	30,24	34,23
10T40B	29,56	33,55

Cuando se comparan todas las muestras con el tejido sin tratar, es visible que la aplicación de los productos químicos definitivamente impacta esta propiedad

Estos mismos resultados pueden ser observados más claramente en las Figuras 11 y 12 donde se hace una evaluación de esta propiedad con respecto a la concentración del TiO<sub>2</sub> y la concentración de resina acrílica:

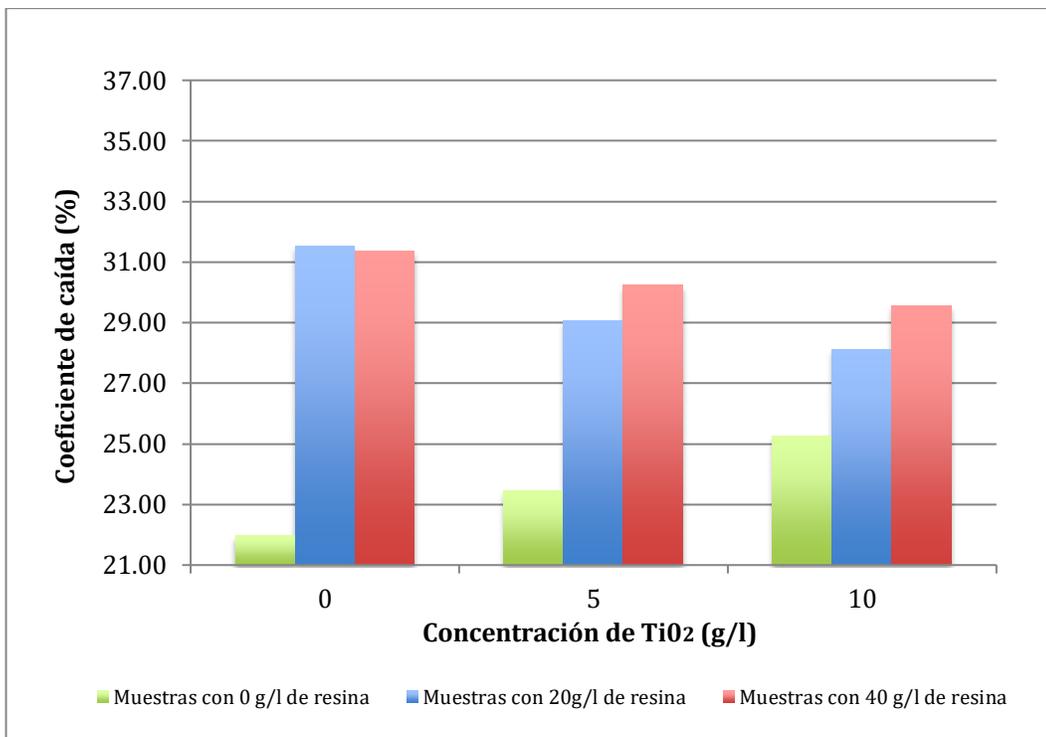


Figura 11. Coeficiente de caída antes de la exposición UV

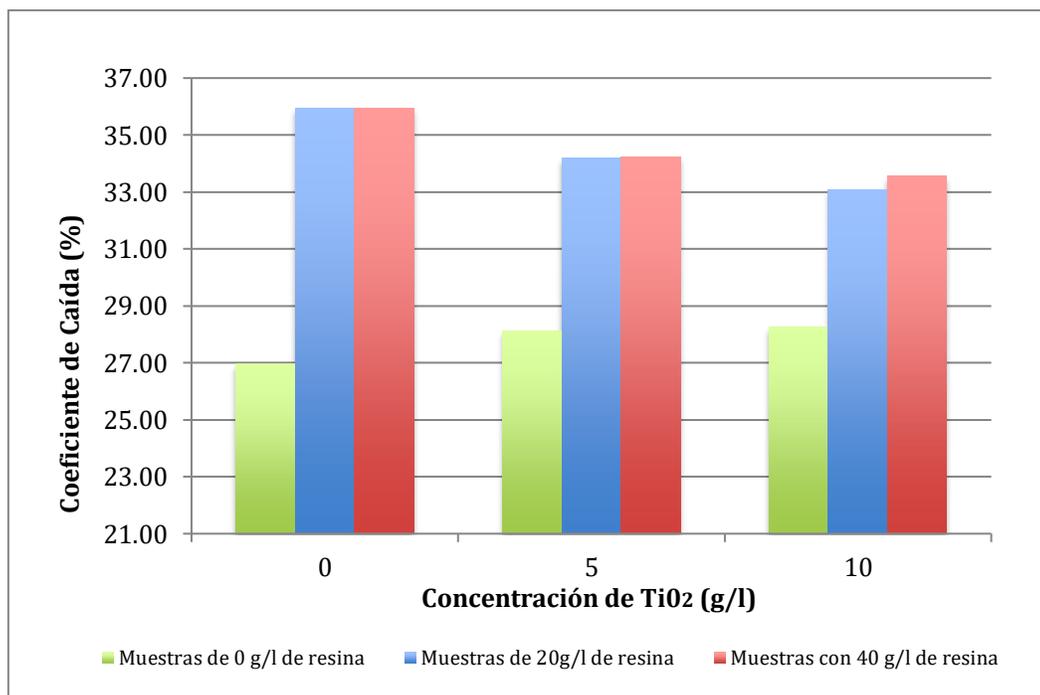


Figura 12. Coeficiente de caída después de la exposición UV

En la figura 11 se observa como en ausencia de TiO<sub>2</sub>, el coeficiente de caída es básicamente el mismo para ambas concentraciones de resina de manera que, en el rango analizado, el

efecto que tiene la aplicación de resina en el tejido será el mismo sin importar la concentración utilizada de dicho material.

Se puede observar que en las muestras con resina y TiO<sub>2</sub> presentan coeficientes de caída levemente menores que las muestras tratadas únicamente con resina. En éstas muestras cuando la concentración de la resina es más alta, el coeficiente de caída es ligeramente más alto lo que significa que el tejido pierde su capacidad de caer. Cuando la concentración de TiO<sub>2</sub> en estas muestras aumenta, el coeficiente de caída disminuye. De esta comparación se puede concluir que la aplicación de TiO<sub>2</sub> ayuda a la caída del tejido en un proceso que utiliza resina acrílica.

Por otro lado, en el caso de las muestras sin resina, se puede observar que cuando aumenta la concentración de TiO<sub>2</sub>, el coeficiente de caída también aumenta.

Debido a lo anterior, la disminución en el coeficiente de caída de las muestras con resina y TiO<sub>2</sub> se puede atribuir al hecho de que el polvo está llenando los espacios entre las fibras y la resina no puede ir a través de esos espacios haciendo el coeficiente de caída inferior como indican los autores Yuen, et al. [Yuen, et al. 2009].

En la figura 12 se puede apreciar que después de la exposición UV, la tendencia observada anteriormente se mantiene, pero los coeficientes de caída de todas las muestras aumentan aproximadamente 4% lo cual es debido a un aumento de la rigidez de la fibra y los productos utilizados debida a la luz y calor al que fueron expuestos.

## 5.2. FUERZA DE DESGARRO

Para la determinación de la fuerza de desgarro de cada muestra se llevaron a cabo las pruebas antes y después de la exposición a la luz UV. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4:

*Tabla 4. Resultados de las pruebas de Fuerza de desgarro*

Muestra	ANTES DE UV		DESPUÉS DE UV	
	Trama (N)	Urdimbre(N)	Trama (N)	Urdimbre (N)
0T0B	14,12	13,29	16,35	15,61
5T0B	15,20	14,10	5,91	6,98
10T0B	15,30	14,32	5,54	7,80
0T20B	16,11	18,67	16,11	19,79
5T20B	14,83	13,86	12,06	14,76
10T20B	14,67	13,61	11,65	9,83
0T40B	19,41	19,28	17,34	20,37
5T40B	17,00	15,97	12,93	15,72
10T40B	15,38	15,68	13,07	13,55

En la tabla 4 se observa como las diferentes concentraciones de materiales utilizados ayudan a mejorar la resistencia de la tela y es más evidente en la dirección de la trama que en la dirección de la urdimbre. Importante es mencionar que después de la impregnación de todas las muestras, se percibió un cambio en el tacto volviéndose este más áspero.

Las figuras 13, 14, 15 y 16 muestran el comportamiento de la fuerza de desgarro con respecto a la concentración del nanomaterial y la resina.

En las figuras 13 y 14 se puede observar que antes de la exposición a la luz UV, en las muestras tratadas únicamente con resina, la concentración de este material ayuda a que el tejido sea más resistente a la tracción ya que la fuerza de desgarro reportada es mayor.

Las muestras tratadas con  $\text{TiO}_2$  y resina, reportan valores menores que los presentados por las tratadas únicamente con resina. En dichas muestras, la concentración de  $\text{TiO}_2$  afecta la fuerza pero en el sentido opuesto a la concentración de la resina, ya que puede verse que para la misma concentración de resina, la fuerza de desgarro tiende a disminuir a medida que aumenta la cantidad de  $\text{TiO}_2$ .

En cuanto a las muestras tratadas únicamente con  $\text{TiO}_2$ , éstas presentan fuerza de desgarro similar a la tela no tratada lo cual indica que el polvo no afecta a esta propiedad negativamente, es decir que no disminuye la resistencia del tejido y que en el rango analizado, el efecto es el mismo sin importar la concentración del nanomaterial.

Basado en lo anterior, la disminución de la fuerza observada en las muestras con resina y  $\text{TiO}_2$  con respecto a aquellas tratadas con únicamente resina, puede estar asociada a una reducción de la reticulación entre la resina y la tela donde el polvo está ocupando espacios que en las otras muestras son ocupados por la resina lo cual produce una disminución de la resistencia de la tela.

Después de la exposición UV, en las figuras 15 y 16 se observa como las muestras tratadas con  $\text{TiO}_2$  y resina y solo resina no reportaron un cambio significativo reportando valores similares a los obtenidos antes de la exposición.

Sin embargo, las muestras tratadas únicamente con  $\text{TiO}_2$  presentan una disminución de su fuerza de desgarro cercana a 50%.

Por otro lado, la muestra sin tratar no presenta una disminución significativa de su fuerza después de la exposición lo que lleva a concluir que este efecto de reducción en la fuerza en las muestras con  $\text{TiO}_2$ , es debida a la fotodegradación de la celulosa bajo luz UV catalizada por este material y que ha sido estudiada por autores tales como Fan, et al. [Fan, et al. 2011], Veronovski, et al. [Veronovski, et al. 2009] y Machado, et al. [Machado, et al. 2003]. El tejido pierde fuerza debido a que la celulosa es convertida en otros compuestos lo que implica que el tejido se desgarre más fácilmente. De esto, se puede concluir el efecto fotocatalítico del  $\text{TiO}_2$  y que el uso de una resina para unir este material a un tejido, ayuda a prevenir una disminución de sus propiedades de tracción.

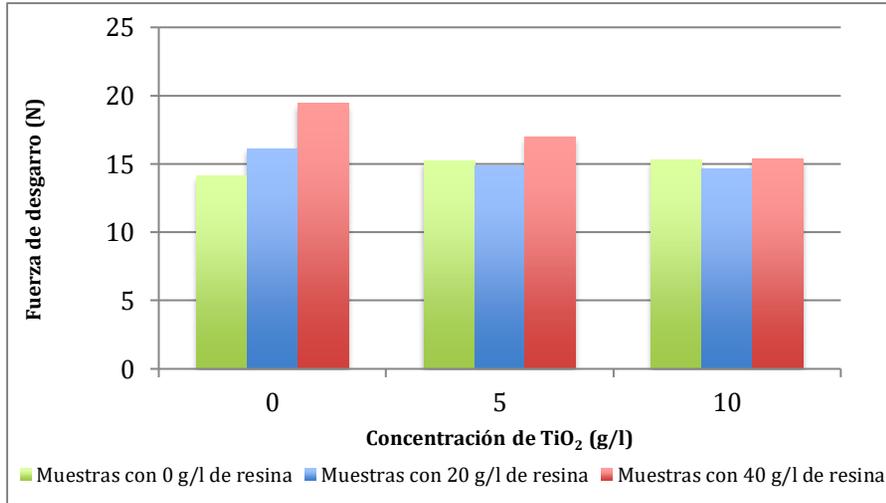


Figura 13. Resultados de fuerza de desgarro (trama) antes de UV

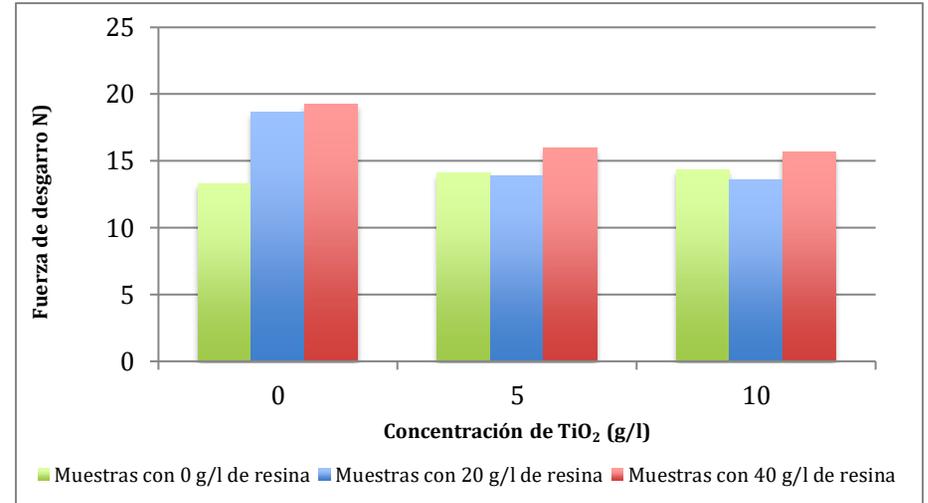


Figura 14. Resultados de Fuerza de desgarro (urdimbre) antes de UV

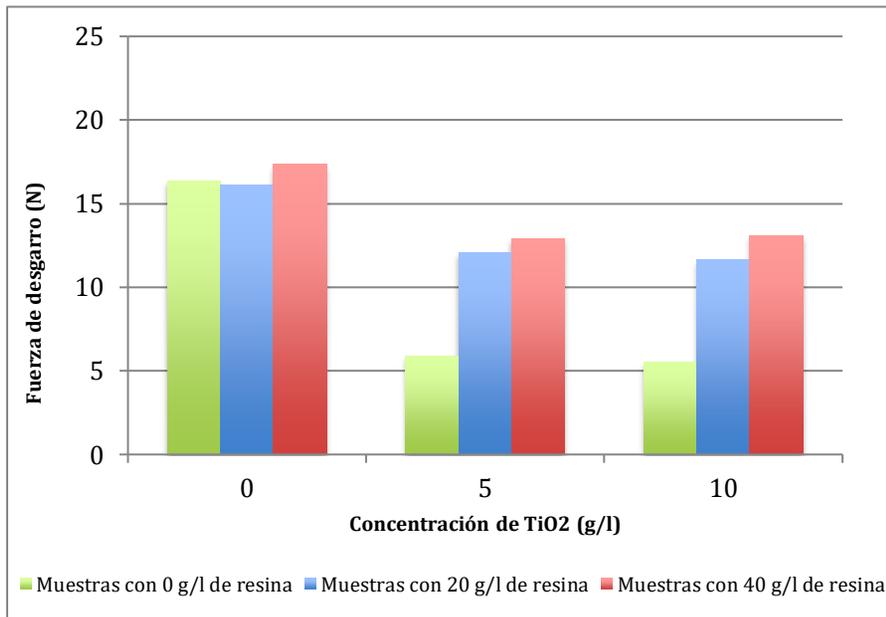


Figura 15. Resultados de Fuerza de desgarro (trama) después de UV<sup>a</sup>

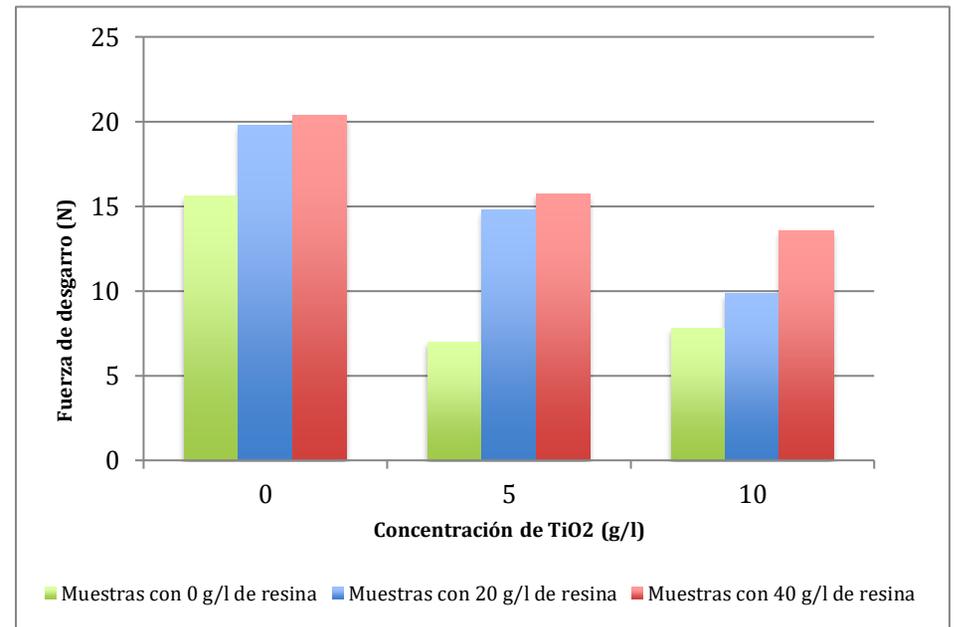


Figura 16. Resultados de fuerza de desgarro (urdimbre) después de UV

### 5.3. PERMEABILIDAD AL AIRE

En lo que respecta a la permeabilidad al aire, luego de realizar la prueba en todas las muestras antes y después de la exposición a la luz, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5 y Figuras 8 y 9.:

Tabla 5. Resultados de las pruebas de permeabilidad al aire

Muestra	Antes de UV (l/m <sup>2</sup> /s)	Después de UV (l/m <sup>2</sup> /s)
0T0B	1341,67	1390,00
5T0B	955,00	1446,5
10T0B	865,00	1510,01
0T20B	786,67	973,67
5T20B	718,67	759,33
10T20B	725,00	733,33
0T40B	1030,33	1255,67
5T40B	751,33	803,67
10T40B	761,00	754,67

En la tabla 5 se observa como esta es la propiedad que resulta más impactada por el tratamiento realizado sobre el tejido. El flujo de aire que pasa a través de la tela no tratada es aproximadamente 70% mayor que el flujo obtenido para el resto de las muestras.

En las figuras 17 y 18 se muestra el comportamiento de esta variable con respecto a la concentración de TiO<sub>2</sub> y resina acrílica.

En la figura 17 se puede analizar que en el caso de la permeabilidad al aire, la influencia de la concentración de la resina y el TiO<sub>2</sub> no es tan notoria como en las otras propiedades evaluadas, dado el hecho de que los valores obtenidos para todas las concentraciones son muy similares.

Las muestras tratadas sólo con TiO<sub>2</sub> también reportaron valores de permeabilidad al aire más bajos que los obtenidos para la tela no tratada lo cual es coherente con lo que se ha mencionado anteriormente de que el nanopolvo se aloja en los espacios entre las fibras convirtiéndose en un impedimento para el que el aire pase lo cual se traduce en una disminución de la permeabilidad del tejido

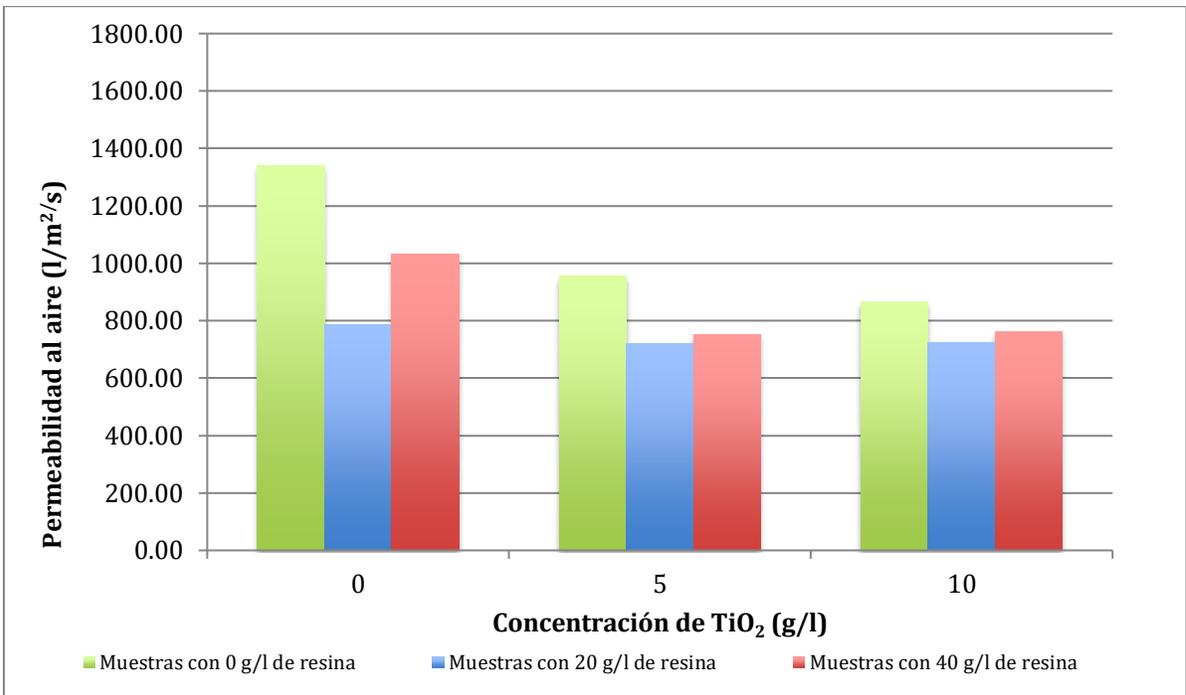


Figura 17. Resultados de las pruebas de permeabilidad al aire antes de la exposición UV

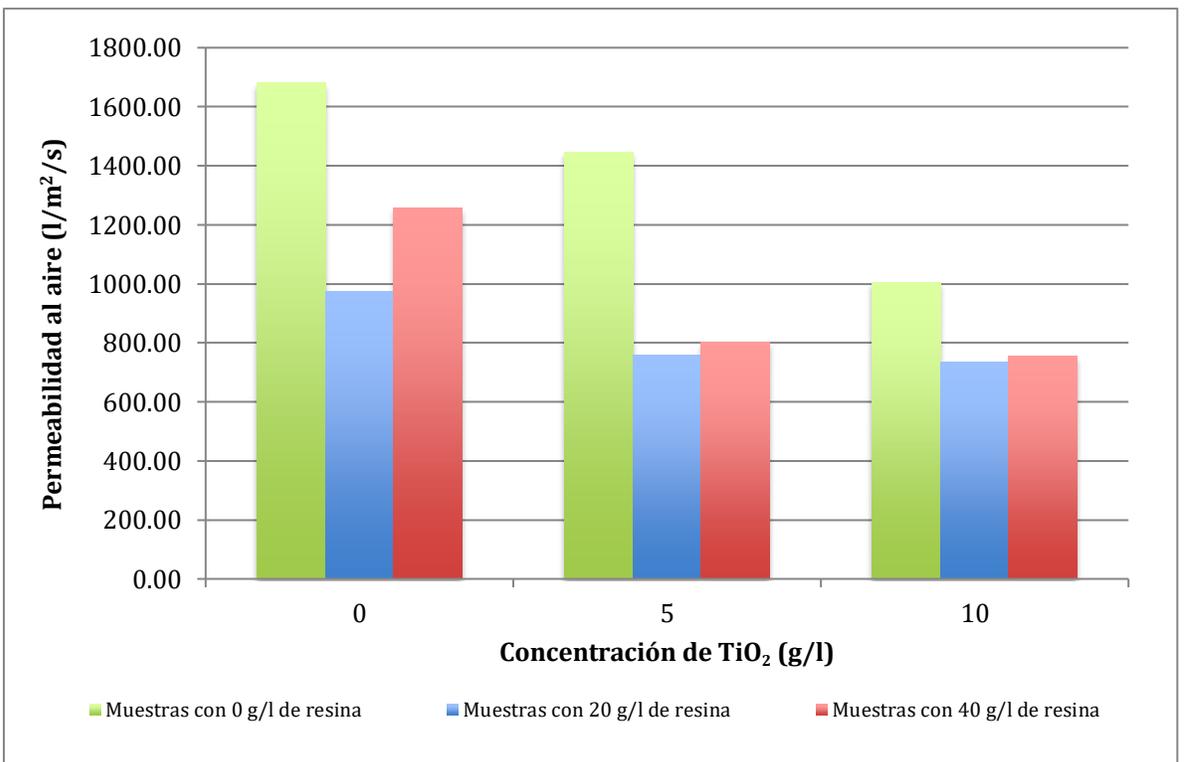


Figura 18. Resultados de las pruebas de permeabilidad al aire después de la exposición UV

Después del tratamiento UV, tal como se aprecia en la figura 18, todas las muestras presentaron un aumento en sus valores de permeabilidad al aire especialmente aquellas que contenían dióxido de titanio. Sin embargo, en el caso de las muestras con resina y  $TiO_2$ , el cambio no fue tan significativa como en el caso de las muestras con únicamente  $TiO_2$ . El aumento de los valores de permeabilidad después de la exposición es una vez más debido a la reacción de degradación de la celulosa en presencia de luz UV catalizada el  $TiO_2$ , que deja como resultado perdida de fibra que se convierte en otros compuestos y resultando en que más aire sea capaz de pasar a través de la tela.

#### 5.4. EFECTO DE AUTOLIMPIEZA

Como se expuso en la metodología, la evaluación del efecto de autolimpieza se llevó a cabo por la medición de color de una mancha de café en el tejido antes y después de un proceso de exposición a luz UV. Dichas mediciones de color se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Los resultados de la medición del color antes y después de la exposición UV

Muestra	Tiempo transcurrido	CIE L	CIE a	CIE b	DL	Db	Da	DE
10T40B	0 HORAS	79,08	22,55	2,96	2,68	-1,86	-0,52	3,30
	10 HORAS	81,76	20,69	2,43				
10T20B	0 HORAS	79,81	20,92	2,35	1,56	-2,66	0,27	3,09
	10 HORAS	81,37	18,26	2,62				
5T40B	0 HORAS	79,73	21,41	2,65	1,18	-1,40	0,31	1,86
	10 HORAS	80,91	20,01	2,96				
5T20B	0 HORAS	77,57	21,74	3,06	0,64	1,16	0,64	1,47
	10 HORAS	78,21	20,58	3,69				
0T0B	0 HORAS	78,91	17,96	1,85	-0,18	0,71	0,79	1,08
	10 HORAS	78,73	18,67	2,64				
0T40B	0 HORAS	79,61	20,76	1,94	-0,22	0,72	0,71	1,04
	10 HORAS	79,38	21,48	2,65				
0T20B	0 HORAS	77,52	21,34	2,81	0,25	0,68	0,83	1,10
	10 HORAS	77,77	22,03	3,64				
5T0B2	0 HORAS	80,76	15,70	1,26	1,35	0,32	-0,09	1,39
	10 HORAS	82,11	16,02	1,17				
10T0B2	0 HORAS	80,04	18,92	2,40	2,46	-0,49	-0,71	2,61
	10 HORAS	82,50	18,43	1,70				

DE es la diferencia total de color entre dos muestras. En general su evaluación suele hacerse basada en la valoración mostrada en la tabla 7:

Tabla 7. Valoración del cambio total de color DE

Valor de DE	Diferencia de color
0,0 – 0,5	No hay diferencia de color
0,5 – 1,0	Diferencia de color perceptible únicamente por aparatos
1,0 – 2,0	Mínima diferencia de color
≥ 2	Diferencia de color perceptible al ojo humano

En este caso, tal como se explicó anteriormente, se ha considerado a DE como la representación del efecto de autolimpieza guardando éstos una relación directamente proporcional.

En base a lo anterior, se puede observar que cuando aumenta la cantidad de TiO<sub>2</sub>, el valor de DE aumenta y por tanto, el efecto de autolimpieza también aumenta. Es posible también afirmar que hay una mayor degradación de la mancha.

Más específicamente se puede hablar sobre el valor de Cie L, que indica la luminosidad. Para todas las muestras con TiO<sub>2</sub>, este valor es mayor después de la exposición UV obteniéndose valores de DL ≥ 0, lo cual indica que la mancha está mas clara. La diferencia DL es más grande cuando aumenta la concentración del TiO<sub>2</sub>.

Con respecto a los valores CIE a y CIE b que indican las variaciones en el matiz del color, se puede observar que en el caso de CIE b solo hay variaciones Db considerables en el caso de la muestra 10T20B mientras que en el caso de CIE a, las variaciones Da son despreciables en todos los casos. De esta forma se puede concluir que no se pueden observar variaciones en el matiz de color de la mancha únicamente en la claridad de la misma.

En el caso de las muestras tratadas únicamente con resina y la muestra sin tratar, no se reportaron cambios significativos en la claridad de la mancha y tampoco en el matiz del color. Para las muestras 0T0B y 0T40B, el DL reportado fue incluso menor que 0 lo que implica que la mancha se volvió más oscura luego de la exposición.

Con respecto a las muestras tratadas exclusivamente con TiO<sub>2</sub>, solo la muestra 10T0B presenta un valor considerable de DL pero aun así, este valor es menor que el reportado para las muestras con la misma concentración del nanomaterial pero incluyendo resina.

En la figura 19 donde se muestra el comportamiento del cambio total de color DL con respecto a la concentración de TiO<sub>2</sub> y la resina acrílica, se observa que para la misma concentración de TiO<sub>2</sub>, el efecto es mejor cuando aumenta la concentración de resina acrílica. Esto es debido a una mejor unión entre las nanopartículas y el tejido; Por lo tanto, la degradación de la mancha es mejor.

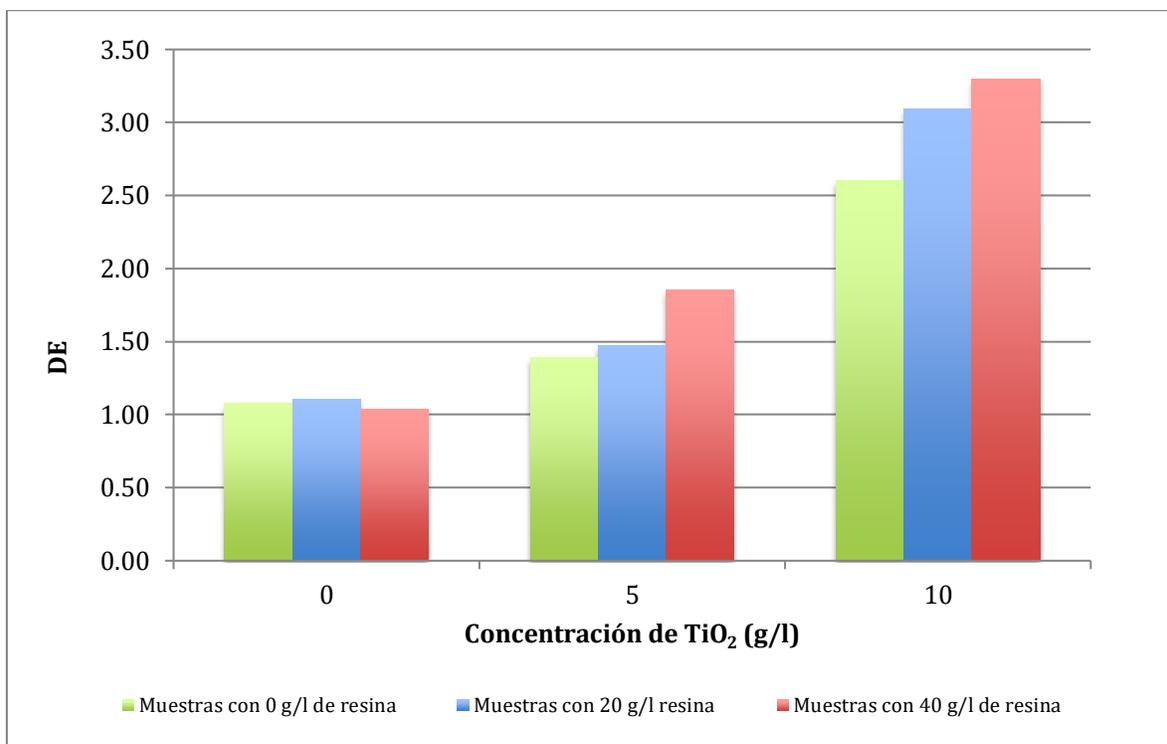


Figura 19. Resultados de la prueba de autolimpieza

### 5.5. DURABILIDAD DEL EFECTO DE AUTOLIMPIEZA

En lo que respecta a la durabilidad de la acción de autolimpieza, tal como se comentó anteriormente, por motivos de tiempo únicamente se evaluó la muestra con 10 g/l de TiO<sub>2</sub> y 40 g/l de resina (10T40B) ya que esta fue la muestra que presentó los mejores resultados cuando se realizó la prueba de autolimpieza.

Los resultados obtenidos están en la Tabla 7. Se puede apreciar que, aunque la DE reportada después del lavado (DE=2,03) es menor que la reportada en la prueba de autolimpieza (DE=3,30), ésta sigue estando en el rango de perceptible al ojo humano y que además es considerablemente mejor que los valores obtenidos previamente para la mayoría de las muestras.

Los valores obtenidos en esta prueba siguen la misma tendencia observada en la prueba de autolimpieza dado que después de la exposición a la luz UV, la claridad de la mancha aumenta lo cual es establecido por el DL<sub>2</sub>0.

Da y Db nuevamente presentan variaciones despreciables.

Los resultados obtenidos conducen a confirmar que 40 g/l es una concentración adecuada de resina que permite que una buena unión entre el TiO<sub>2</sub> y el material textil y además a confirmar que los tratamientos con nanopartículas son duraderos resistiendo procesos de lavado. Además se observa como el TiO<sub>2</sub> en su papel únicamente como catalizador de la reacción de degradación conserva sus propiedades.

Tabla 8. Resultados de la medición del color antes y después de la exposición UV para la muestra lavada

Muestra	Tiempo transcurrido	CIE L	CIE b	CIE a	DL	Db	Da	DE
Después del lavado 10T40B	0 HORAS	79,32	21,33	2,64	1,76	0,99	0,23	2,03
	10 HORAS	81,08	22,32	2,87				

En la figura 20 se muestran las lecturas del color de las manchas obtenidas por el colorímetro para las pruebas de autolimpieza y durabilidad. Estas lecturas se han ordenado de manera que muestren el color de la mancha antes de iniciar el tratamiento (0h) y habiendo finalizado la exposición (10h).

En el caso de los resultados de la prueba de autolimpieza, se puede confirmar como el cambio en la claridad de la muestras con  $TiO_2$  es mayor cuando aumenta la concentración de este material.

Lo mismo sucede con la concentración de resina: cuando hay presencia de  $TiO_2$ , entre más resina, más claridad presenta la muestra

Esto no ocurre en las muestras tratadas únicamente con resina o en la muestra sin tratar, donde después de la exposición hay muestras que incluso se perciben mas oscuras.

Además es posible confirmar que el cambio en el matiz del color de todas las muestras no es perceptible.

Con respecto a la muestra de la prueba de durabilidad que fue sometida a 5 cinco ciclos de lavado, se aprecia como el cambio en la claridad de ésta es mayor que la mayoría de muestras confirmando que el  $TiO_2$  sigue unido al material textil y que preserva sus propiedades fotocatalíticas.

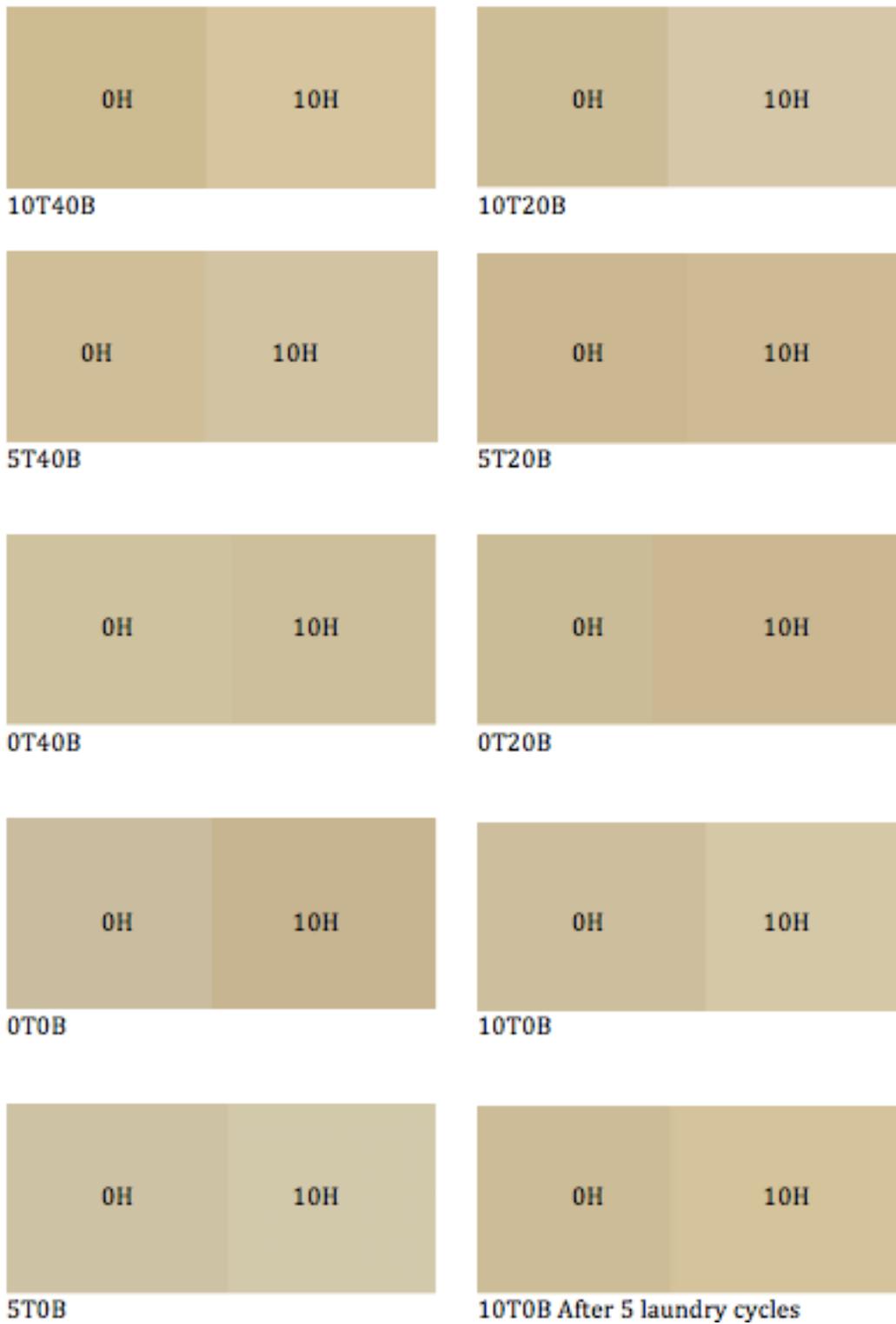


Figura 20. Cambios de color de todas las muestras

## 6. CONCLUSIONES

1. El uso de un proceso impregnación con secado y curado para el tratamiento de tejidos de algodón con  $\text{TiO}_2$ , ha demostrado ser un procedimiento eficaz y fácil para añadir este material sobre los tejidos.
2. Debido a la limitante de  $\text{TiO}_2$  disponible, no fue posible evaluar el comportamiento de muestras tratadas a concentraciones intermedias de este material en el rango evaluado que fue de 0 a 10 g/l. Estas habrían servido como control y demostrado más claramente el efecto de la concentración sobre todas las propiedades evaluadas.
3. El tratamiento de tejidos de algodón con  $\text{TiO}_2$  afecta la mayoría de las propiedades del tejido sobre todo porque este producto actúa como catalizador cuando la tela tratada se expone a la luz UV. Sin embargo, el uso de una resina acrílica para unir el polvo ayuda a prevenir la degradación, por lo tanto el tejido conserva sus propiedades inalteradas.
4. El coeficiente de caída del tejido aumentó en todas la muestras después de el proceso de impregnación. Esto debe tomarse en cuenta ya que si el fin último del tejido requiere que este caiga, un proceso con resina no es el mas adecuado para unir el  $\text{TiO}_2$  al material textil.
5. Respecto a la resistencia del tejido, se puede apreciar como ésta mejora con la impregnación de todas las muestras. Sin embargo, esto se logra comprometiendo un poco el tacto del material por lo que será necesario evaluar cual de las propiedades es más importante lo cual dependerá del uso que tendrá la tela.
6. La impregnación de los tejidos también resulta en una restricción del paso de aire a través del mismo. Es por esto que tratamientos como el descrito en este documento, pueden ser utilizados para tejidos para filtros, lonas y cierto tipo de vestimenta para exteriores.
7. La acción de autolimpieza del  $\text{TiO}_2$  se confirmó con este estudio. De los resultados, se puede concluir que el efecto aumenta cuando se aumenta la concentración del polvo. Además, cuando la concentración de la resina fue

mayor, el efecto de auto-limpieza también fue mayor que es debido a una mejor unión entre el  $\text{TiO}_2$  a la tela.

8. Los resultados de la prueba de durabilidad confirman una buena unión del nano material y el tejido dado que a pesar de los lavados se obtiene una degradación de la mancha corroborada por un cambio en el color de la misma.
9. Se confirma también que los tratamientos con nanopartículas son duraderos resistiendo procesos de lavado. Esto los hace atractivos ya que son amigables con el medioambiente.

## 7. REFERENCIAS

- Addington, M., Schodek, D. (2005). *Smart materials and new technologies*. Burlington, MA, USA: Elsevier.
- Assessment of Nanotechnology's Role in Textile Industry (2015). Recuperado de: <http://statnano.com/news/52081>
- Bonet Aracil, MA.; Bou-Belda, E.; Monllor Pérez, P.; Gisbert Paya, J.; Díaz-García, P.; Montava Seguí, IJ. (2015). A comparison between acrylic resin and butanetetracarboxylic acid used to bind TiO<sub>2</sub> nanoparticles to cotton fabrics. *Cellulose*. 22(2):1347-1354.
- Chaudhari, S. B., Mandot, A., & Patel, B. H. (2012). Effect of nano TiO<sub>2</sub> pretreatment on functional properties of cotton fabric. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(9), 24-29.
- Chen, C. C., & Wang, C. C. (2006). Crosslinking of cotton cellulose with succinic acid in the presence of titanium dioxide nano-catalyst under UV irradiation. *Journal of sol-gel science and technology*, 40(1), 31-38.
- Dehadabi V.A., Buschmann H.J., Gutmann J.S. (2012) Durable press finishing of cotton with polyamino carboxylic acids. *Carbohydr Polym* 89:558–563
- El-Drieny, E. A. E. A., Sarhan, N. I., Bayomy, N. A., Elsherbeni, S. A. E., Momtaz, R., y Mohamed, H. E.-D. (2015). Histological and immunohistochemical study of the effect of gold nanoparticles on the brain of adult male albino rat. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 3(4), 181-190.
- Fan, H., Li, G., Yang, F., Yang, L. and Zhang, S. (2011), Photodegradation of cellulose under UV light catalysed by TiO<sub>2</sub>. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 86: 1107–1112. doi: 10.1002/jctb.2632
- Fernández A., Guzmán A. (2007). Obtención de recubrimientos con propiedades ópticas utilizando el método Sol-Gel, trabajo de grado programa Ingeniería Física. Universidad del Cauca. 2007. pp. 19

- Gupta KK, Jassal M, Agrawal AK (2008) Sol–gel derived titanium dioxide finishing of cotton fabric for self cleaning. *Ind J Fibre Text Res* 33(4):443–450
- Huang, X. P., & Monk, C. (2004). Purification and characterization of a cellulase (CMCase) from a newly isolated thermophilic aerobic bacterium *Caldibacillus cellulovorans* gen. nov., sp. nov. *World journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(1), 85-92.
- Kale, B. M., Wiener, J., Militky, J., Rwawiire, S., Mishra, R., Jacob, K. I., & Wang, Y. (2016). Coating of cellulose-TiO<sub>2</sub> nanoparticles on cotton fabric for durable photocatalytic self-cleaning and stiffness. *Carbohydrate polymers*, 150, 107-113.
- Lam, Y. L., Kan, C. W., & Yuen, C. W. M. (2011). Effect of titanium dioxide on the flame - retardant finishing of cotton fabric. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(1), 267-278.
- Long, M., Zheng, L., Tan, B., & Shu, H. (2016). Photocatalytic self-cleaning cotton fabrics with platinum (IV) chloride modified TiO<sub>2</sub> and N-TiO<sub>2</sub> coatings. *Applied Surface Science*, 386, 434-441.
- Machado, A. E. H., de Miranda, J. A., de Freitas, R. F., Duarte, E. T. F., Ferreira, L. F., Albuquerque, Y. D., de Oliveira, L. (2003). Destruction of the organic matter present in effluent from a cellulose and paper industry using photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 155(1), 231-241.
- Pakdel, E., & Daoud, W. A. (2013). Self-cleaning cotton functionalized with TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>: focus on the role of silica. *Journal of colloid and interface science*, 401, 1-7.
- Parkin, I. P., & Palgrave, R. G. (2005). Self-cleaning coatings. *Journal of materials chemistry*, 15(17), 1689-1695.
- Sarathi, P., & Thilagavathi, G. (2009). Synthesis and characterization of titanium dioxide nano-particles and their applications to textiles for microbe resistance. *Journal of Textile and Apparel, Technology and Management*, 6(2).

- Rahman, M. M., Khalil, E., Solaiman, M., Khan, M. A., Sarkar, J., Abedin, F., Al Mamun, R. (2015). Investigation on Physico-Chemical Properties of 100% Cotton Woven Fabric Treated with Titanium Dioxide. *American Journal of Applied Chemistry*, 3(2), 65-68.
- Saad, E. R., & Hafez, N. M. (2014). Effect of coating with silver nanoparticles (AgNPs) on cotton fabric functional properties. *Int Des J*, 4, 33-39.
- Samal, S. S., Jeyaraman, P., & Vishwakarma, V. (2010). Sonochemical coating of Ag-TiO<sub>2</sub> nanoparticles on textile fabrics for stain repellency and self-cleaning-the Indian scenario: a review. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 9(06), 519.
- Sundaresan, K., Sivakumar, A., Vigneswaran, C., & Ramachandran, T. (2012). Influence of nano titanium dioxide finish, prepared by sol-gel technique, on the ultraviolet protection, antimicrobial, and self-cleaning characteristics of cotton fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 41(3), 259-277.
- Uğur, Ş.S Sarıışık, M. & Aktaş, A.H. *Fibers Polym* (2011) 12: 190. <https://doi.org/10.1007/s12221-011-0190-5>,
- Veronovski, N., Rudolf, A., Smole, M. S., Kreže, T., & Geršak, J. (2009). Self-cleaning and handle properties of TiO<sub>2</sub>-modified textiles. *Fibers and polymers*, 10(4), 551-556.
- Yuen, C. W. M., Ku, S. K. A., Li, Y., Cheng, Y. F., Kan, C. W., & Choi, P. S. R. (2009). Improvement of wrinkle-resistant treatment by nanotechnology. *The Journal of The Textile Institute*, 100(2), 173-180.
- Zuluaga, R., Putaux, J. L., Cruz, J., Vélez, J., Mondragon, I., & Gañán, P. (2009). Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. *Carbohydrate Polymers*, 76(1), 51-59.