

TFG

SIMULACIÓN GRÁFICA DEL VALOR DEL COEFICIENTE DE ATENUACIÓN LINEAL DEL LINO Y EL ALGODÓN

Presentado por Pascual Pérez Colomer

Tutor: José Antonio Madrid García

Facultat de Belles Arts de Sant Carles

Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

Curso 2016-2017



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

RESUMEN

En el siguiente trabajo se aborda un acercamiento a la simulación gráfica del valor del coeficiente de atenuación lineal en dos piezas textiles, como son una de lino y la otra de algodón. Con esta simulación perseguimos mostrar las diferencias de espesor de esas piezas, o su densitometría, a través de su registro radiográfico y el tratamiento numérico de esta imagen. El porqué de la búsqueda de esta simulación está en que de esta forma podríamos demostrar que se pueden obtener detalles imperceptibles sobre estos materiales. Pero ante todo el objetivo es mostrar esta posibilidad y abrir una línea de investigación en un futuro.

Para ello, se ha realizado una compilación de las diferentes herramientas utilizadas a tal fin. Este tipo de materiales son poco resistentes a la radiación y por ello muy radiotransparentes. La elección de estos materiales viene marcada por su gran presencia como soporte en muchas obras de arte, concretamente en el ámbito de la pintura de caballete. Para llevar a cabo el estudio de ambas piezas textiles se ha optado por la realización de dos probetas, una con el lino y la otra con el algodón, pues son estos dos tipos de textiles los más abundantes en piezas de este tipo.

Ambas han sido radiografiadas con los dispositivos del Laboratorio de Documentación y Registro del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Tras su obtención estas han sido procesadas mediante la ayuda del *software* de tratamiento numérico *Matlab* y se ha realizado esa simulación gráfica.

Palabras Clave: Rayos X, *Matlab*, textil, densitometría.

ABSTRACT

The following work is an approach to the graphic simulation of the value of the coefficient of linear attenuation of two textile pieces such as one of linen and the other one of cotton. With this simulation we aim to show the differences in the thickness of these pieces, or their densitometry, through their radiographic record and the numerical treatment of them. The reason for the search for this simulation is that in this way we could show that you can obtain imperceptible details about these materials. But above all the objective is to show this possibility and open a line of research in the future.

For this, a compilation of the different tools used for this purpose has been made. This type of materials are little resistant to radiation and therefore very radiolucent. The choice of these materials is marked by their great presence as support in many works of art, specifically in the field of easel painting. In order to carry out the study of both textile pieces, two specimens have been made, one with linen and the other with cotton, because these two types of textiles are the most abundant in pieces of this type.

Both have been radiographed with the facilities of the *Laboratorio de Documentación y Registro del Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València*. After obtaining these they have been processed by means of the software of numerical treatment, *Matlab* and that perform that graphic simulation.

Keywords: X-Ray, *Matlab*, textile, densitometry.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y a mi hermano por su todo apoyo, su esfuerzo y su comprensión cuando los nervios y estrés hacen mella y tienen que soportar mi mal humor.

A mis abuelos, Carmen y Manuel.

A María Ángeles Cortés, mi profesora de Educación Plástica y Visual en el colegio, quien siempre ha confiado en mí, quien aún a día de hoy sigue interesándose y alegrándose de todo aquello que consigo.

A Sofía Vicente por su ayuda en el proceso de caracterización de los textiles.

Como no a mis amigos y amigas en este recorrido, porque más que amigos nos hemos convertido en una familia, siempre juntos, arrimando el hombro cuando alguno de nosotros lo ha necesitado.

Y por último pero no menos importante a mi tutor, José Madrid, a quien estaré siempre agradecido por su confianza al ofrecerme este trabajo. Por enseñarme a ver más allá del espectro visible, por su ayuda, por sus consejos y por enseñarme a querer y respetar aún más si cabe esta profesión.

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	8
3. RADIOGRAFÍA DE LOS TEXTILES.....	10
3.1 ANTECEDENTES.....	10
3.2. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	12
3.2.1. Lino	13
3.2.2. Algodón.....	14
3.3. REALIZACIÓN DE LAS RADIOGRAFÍAS DE LOS TEXTILES	16
3.3.1. Realización de las probetas.....	19
3.3.2. Equipo rayos X	20
3.4. PROCESADO DE LAS IMÁGENES MEDIANTE <i>MATLAB</i>	22
3.4.1. Lino.....	26
3.4.2. Algodón.....	28
4. CONCLUSIONES.....	31
5. BIBLIOGRAFÍA	33
6. ÍNDICE DE IMÁGENES	35

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo final de grado, se ha realizado un proceso de acercamiento a la simulación gráfica del coeficiente de atenuación lineal del lino y el algodón. Esto nos ofrece la posibilidad de poder mostrar las diferencias de espesor de esas piezas de forma gráfica, y así poder mostrar detalles que de otro modo serían inapreciables en este tipo de materiales.

Dicho proceso de acercamiento, pretendemos que sea el punto de partida de una futura experimentación sobre este tema. Es por esto, que en este trabajo se han sentado las bases para ello a través de una revisión bibliográfica sobre el tema a tratar, así como se ha realizado una compilación de los dispositivos que serían necesarios a tal fin. También, poder conocer las posibilidades de aplicación mediante el uso de programas informáticos que no han sido ideados a tal fin. Del mismo modo, se han realizado diferentes pruebas con el equipo sobre los materiales que se han seleccionado. Para llevar a cabo este primer acercamiento, se han elegido dos piezas textiles, una de lino y otra de algodón, que montadas a modo de libro, constituyen, la base de estudio de este trabajo. Estas piezas han sido radiografiadas, tratadas mediante *Photoshop* y posteriormente hemos procesado estas imágenes a través del *software* matemático.

Tras haber realizado una primera búsqueda con todo lo relacionado sobre el coeficiente de atenuación lineal tanto del lino como del algodón, y no habiéndose encontrado estudios de tal calado aplicados al campo de la conservación y restauración de bienes culturales, hemos escogido estos textiles como materiales de estudio, por la poca absorción de este frente a los rayos X y por consiguiente la dificultad que entraña realizar la radiografía.

Como se ha señalado, uno de los problemas que se han planteado durante la realización de este trabajo, ha sido la escasa información relacionada con este tema, ya que el coeficiente de atenuación ha sido estudiado ampliamente en otros campos como el ámbito de la industria o el de la medicina. Un ejemplo en relación al estudio del coeficiente de atenuación de lo señalado anteriormente es, en relación al estudio del coeficiente de atenuación es, en el campo de la medicina, la relación de los diferentes niveles de grises dio como resultado la llamada escala de Hounsfield. Esta escala ha sido clave en la investigación y el desarrollo de la tecnología

aplicada en la obtención de imágenes obtenidas mediante Tomógrafo Computerizado (TC)¹.

Este ha sido uno de los motivos, que nos ha llevado a la realización de esta primera aproximación al estudio del coeficiente de atenuación lineal, de materiales considerados ligeros, a través de un programa de tratamiento de imagen a nivel matemático. Los materiales ligeros escogidos han sido como se ha señalado el lino y el algodón, ya que, son usados como soporte en la pintura de caballete, además de cómo se ha citado anteriormente por su baja absorción frente a los rayos X. Por ello y para conocerlos mejor hemos realizado una búsqueda sobre ellos con el fin de conocer mejor su uso y características.

Las radiografías, las hemos realizado en las instalaciones, destinadas a tal fin, del Instituto Universitario de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, donde las características del equipo de rayos X permiten trabajar en rangos más bajos de lo habitual, lo cual favorece la obtención de mejores radiografías de este tipo de materiales.

El *software* matemático que hemos elegido ha sido *Matlab*, ya que este entre muchas de sus funciones nos ofrece la posibilidad de procesar digitalmente la imagen y obtener de ella sus valores numéricos, y como se ha señalado obtener una gráfica que muestre el coeficiente de atenuación de los materiales elegidos de forma tridimensional, lo cual nos permite un mejor estudio de los materiales escogidos frente a su exposición a los rayos X. Posibilidad que se experimentó recientemente el estudio de una serie de pinturas sobre lámina de cobre, donde esta simulación sirvió para determinar los bordes de las pinceladas en superficie². En concreto este programa, cuenta en la actualidad con aproximadamente 283 funciones para el procesado digital de imágenes de las 567 funciones aproximadas que tiene este programa.

¹ Antiguamente se les llamaba TAC (Tomografía Axial Computerizada), pero como ahora ya se pueden obtener más cortes que la vista axial, esta denominación ha pasado a ser simplemente TC (Tomografía Computerizada).

² CHULIÁ, I. SARRIÓ, M^a F. FERRAZZA, L. MADRID, J.A. PÉREZ, J. “Valoración científico-técnica de la pintura sobre cobre: Casos de estudio”. En *Painting on copper and other metal plates. Production, Degradation and Conservation Issues*. Valencia, 2017. Pp. 137-144.

2.OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Objetivos

Los objetivos generales de este trabajo son:

- Experimentar con valores cuantitativos con la finalidad de simular el coeficiente de atenuación lineal del lino y el algodón a través del análisis densitométrico de sus imágenes radiográficas.
- Conocer las posibilidades de la técnica radiográfica aplicada al estudio de materiales ligeros empleados como soportes en las pinturas de caballete.

Los objetivos específicos son:

- Buscar a través de la revisión bibliográfica antecedentes del uso de los rayos X aplicados a los materiales ligeros, en este caso piezas o soportes textiles.
- Estudiar las características morfológicas tanto del tejido de lino como del de algodón como referentes de materiales ligeros.
- Emplear e indagar en las posibilidades que ofrece el *software* matemático *Matlab* para el procesado digital de imágenes.

Metodología

Para llevar a cabo de este trabajo y lograr la consecución de los objetivos que se han planteado, se ha procedido a la elección dos tipos diferentes de textiles, significativos en el campo del arte, los cuales han sido objeto de estudio del mismo. Una vez seleccionados se han realizado unas probetas, con ambos textiles a modo de libro para facilitar el estudio de los mismos.

De forma paralela a este proceso se ha realizado una búsqueda bibliográfica en diferentes monografías, artículos y recursos web sobre el uso de los rayos X en la conservación y restauración de bienes culturales y de manera más concreta en el ámbito de los textiles. Del mismo modo se ha actuado con *Matlab*, para conocer los usos y posibilidades que este *software* matemático puede ofrecer, estudiando las posibilidades que ofrecen las 283 funciones para el procesado digital de imágenes.

Una vez realizada esta primera fase se ha ejecutado el estudio morfológico de las piezas textiles elegidas, se ha realizado una caracterización de los mismos, mediante su estudio a través de diferentes técnicas. Previamente, se ha

procedido a buscar los antecedentes de la técnica radiográfica en el campo de la conservación y restauración, buscando las primeras aplicaciones de la radiografía sobre materiales textiles.

A continuación se han realizado las radiografías, fuente de estudio de este trabajo y se ha procedido a su tratamiento, mediante *Photoshop* para adecuar sus características a las requeridas por el *software* matemático *Matlab*, el cual generará a partir de estas una matriz numérica la cual dará lugar a una interpretación gráfica de la misma. Finalmente se extraerán unas conclusiones de todo el proceso de estudio.

3. RADIOGRAFÍA DE LOS TEXTILES

3.1 ANTECEDENTES

El uso de los rayos X se remonta al año 1895 cuando William Conrad Roentgen los descubrió de forma casual. Desde su descubrimiento, los rayos X, se han empleado, además de en sus usos más conocidos, en el estudio de obras de arte. Siendo fundamental su empleo para el conocimiento del estado de conservación de una obra pictórica, su génesis, o simplemente la valoración estilística, encontrando en el campo de la expertización su mejor punto de apoyo en su uso. Es por eso que los rayos X se incorporaron de forma rápida en los gabinetes de investigación de los museos más relevantes tanto de Europa como de América, convirtiéndose en calve para el conocimiento de multitud de objetos considerados de interés cultural.

El uso de la técnica radiográfica aplicada a la conservación y restauración se fundamentó en los avances que se estaban obteniendo en otros campos, como era el caso del campo de la medicina.

Aunque a finales siglo XIX, concretamente en 1888, se creó en el *Staatslichmuseum* de Berlín, en Alemania, el primer laboratorio destinado a la investigación de obras de arte, no es hasta 1896 cuando se realizó la primera radiografía sobre pintura por parte del profesor de la Universidad de Munich, W. Köning, quien además publicó las reflexiones obtenidas en torno a este primer estudio radiográfico.

Hubo que esperar hasta el 1931 para que se construyera el primer equipo de rayos X especialmente diseñado para el estudio de pinturas de la mano de *la Siemens-Reinger-Feifa*. Este equipo se dotó de un tubo especial que incluía una ventana diseñada por el científico alemán Lindemann.

En función de la disciplina artística que vaya a ser objeto de estudio se pueden extraer diferentes tipos de información a través de la aplicación de la técnica radiográfica. Los datos obtenidos a través de dichas radiografías son de gran ayuda para el mejor conocimiento de la pieza objeto de estudio actuando en beneficio de ésta, en su proceso de conservación y restauración.

En lo que respecta a las radiografías de piezas textiles fue el mismo Roentgen que en sus demostraciones y exhibiciones públicas realizó radiografías tanto de seres humanos como del contenido de maletas.

Una de las primeras radiografías de textiles en el ámbito de la conservación y restauración de bienes culturales fue la realizada por Junius Bird³, conservador del *South American Archaeology* del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York. En 1931 Bird, que tenía especial interés en los tejidos precolombinos, investigó la posibilidad de realizar auto-radiografías de textiles arqueológicos siguiendo la activación de neutrones.

Ya en el 1964, Bird realizó trabajos junto con Charles F. Bridgman, del Servicio Técnico de Rayos X de la *Eastman Kodak Company* de Rochester de Nueva York. El mismo Bridgman, ya había estado experimentado desde 1950 con radiografías realizadas sobre materiales culturales.

Junius Bird, había estado experimentando con textiles mojados usando una solución de bario como agente para mejorar la visibilidad de las características de los textiles. Bird utilizó exposiciones de entre 7 y 10 kilovoltajes (kV) lo que hizo posible la visualización y estudio de las imágenes obtenidas.

Otro ejemplo notable entre los primeros usos de la radiografía aplicada a textiles fue la estereoradiografía⁴, técnica que se utilizó para llevar a cabo la investigación de un fragmento de cojín encontrado en la tumba del arzobispo Walter Gray en la Catedral de York⁵. Y a través de esta técnica, este fragmento reveló detalles de hilos de metal del bordado y además mostró el diseño de que se planteó para la realización de dicho bordado.

Robert W. Mottern, en 1978⁶, de *Sandia Laboratories* de los Estados Unidos fue el encargado de la dirección del proyecto de investigación de la Sabana Santa de Turín. La radiografía fue tomada con aproximadamente 15 kV usando una rejilla de alambre para proporcionar la orientación más idónea. La resolución obtenida fue lo suficientemente buena para visualizar individualmente los hilos de lino, estos hilos, medían alrededor de 15 mm de diámetro. Los resultados obtenidos fueron aumentados y el contraste fue mejorado.

Por otro lado, *Germanisches Nationalmuseum*, investigó la radiografía sobre materiales culturales, lo que llevó a la publicación de un calendario de

³ O'CONNOR,S; BROOKS, M. *X-radiography of textiles,dress and related objects*, 2007, p.5.

⁴ Estereoradiografía: f. Técnica radiográfica que, con la adquisición de dos imágenes con diferente ángulo de incidencia o mediante un pequeño cambio en la posición del objeto, permite obtener un efecto visual de aspecto tridimensional o estereoscópico, al observar cada una de las imágenes de forma individual por cada ojo. <http://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/estereoradiografia>

⁵ O'CONNOR, S; BROOKS, M. Op cit., 2007,p.5.

⁶ Ibid.

radiografías, realizadas con la empresa *Siemens Medical Radiography*, en 1993 donde entre las radiografías de otras piezas se encontraba la radiografía de un vestido de una muñeca del siglo XIX realizada en papel maché.

También se encuentran estudios realizados por la *National Aeronautics Space Administration* (NASA), la cual, realizó radiografías de personas vestidas con trajes espaciales para comprobar la idoneidad de los mismos, lo cual generó un excelente registro de los materiales constitutivos de dichos trajes.

Como se ha señalado las referencias bibliográficas del estudio de materiales textiles mediante la técnica de rayos X son escasas, lo cual deja la puerta abierta a futuras investigaciones sobre este tema, ya que como se ha señalado los materiales textiles forman parte de una gran cantidad de bienes culturales.

3.2. SELECCIÓN DE MATERIALES

La elección de los materiales objeto de este trabajo final de grado, ha estado motivada por la gran presencia que ambos en el ámbito del arte como soporte para la realización de pinturas. Dichos materiales textiles son el lino y el algodón.

El uso de textiles como soportes flexibles viene desde la antigüedad, concretamente, la realización de tejidos con métodos avanzados tiene lugar en Egipto y Arabia en los siglos IV y IIIa.C⁷. Es en Egipto y también en Bizancio, donde se ha documentado el uso de telas de fibras vegetales como forro para soportes de madera sobre los cuales posteriormente se pintaría. Esta práctica se extendió a lo largo de los siglos, llegando a ser utilizada por pintores flamencos e italianos, como así se pone de manifiesto en diferentes tratados.

Uno de estos tratados es el de Cennino Cennini quien habla de la preparación de las tablas con una tela de lino. No fue hasta el siglo XVI, cuando en la escuela veneciana, las telas comenzaron a montarse sobre bastidores derivado de las necesidades plásticas de los pintores. El lino fue el tejido más utilizado como soporte para la realización de las obras. Ya a finales del siglo XVIII el algodón se abrió camino como soporte para las pinturas sobre lienzo, a pesar de que sus características no garantizan una buena conservación⁸. A pesar de su uso tardío como soporte para el arte, el algodón, ya se usaba en India hace 3000 años, así como en América Central y América del Sur. Este tipo de tejido se introdujo en Europa de la mano de Alejandro Magno, llegando a España de de mano de los árabes en el siglo IX.

⁷ HUERTAS, M. *Materiales, procedimientos y técnicas pictóricas I*, 2010, p.107.

⁸ CALVO, A. *Conservación y restauración. Materiales técnicos y procedimientos de la A a la Z*, 2003, p.21.

Para lograr un análisis pormenorizado de ambos tejidos se ha realizado una extracción de muestras para su observación al microscopio y a la lupa, junto con el examen visual previo. Este análisis ha permitido conocer las características morfológicas tanto internas como externas de cada uno de los textiles, características, que ayudan a comprender mejor el por qué un tejido tiene un mayor o menor coeficiente de absorción.

A continuación se van a detallar las características morfológicas de los textiles elegidos para llevar a cabo este trabajo final de grado. Estos han sido el primero una lona de lino y el segundo tejido elegido ha sido una lona de algodón.

3.2.1. Lino

El lino, es una fibra natural vegetal de tipo celulósico, que se obtiene del tallo de la planta de nombre homónimo *linum usitatissimum*. Este tipo de fibra se suele encontrar en climas templados. El número de manojos de fibras en el tallo de la planta puede sufrir una variación de entre 15 a 40 y dentro de este pueden ser útiles de 12 a 40 fibras. Después del enriado, que es el proceso de fermentación microbiológica de los tallos de cáñamo y lino que permite la extracción y separación de las fibras de la porción leñosa, los manojos de fibras son separados de la corteza y del tejido de la madera por espadillado, proceso mediante el cual se macera y quebranta con espadilla el cáñamo o el lino para sacarle el tamo y poderlo hilar. Durante este proceso una cantidad de tejido cortical permanece adherido a los manojos de fibras, lo cual hace que el lino adquiera su característica tonalidad cruda.

El lino, se muestra resistente a medios alcalinos, sin embargo, se ve afectado en ambientes ácidos. Si se encuentra en ambientes húmedos puede sufrir cambios tanto en sus dimensiones como en su peso y resistencia derivados de la disposición de sus fibras y la disposición de las microfibrillas, las cuales se encuentran orientadas en sentido S mientras que la capa exterior presenta orientación Z.

En lo referente a sus características morfológicas longitudinales, se puede apreciar que el lino, presenta dislocaciones de tipo transversal que se muestran intervalos frecuentes. Por lo que respecta a su sección transversal, se observan formas poligonales de las fibras elementales. (fig. 1 y 2)

Una vez examinado al microscopio (aumento de 10x) (fig. 3) se observa que el tejido de lino es un tafetán (1e1), con una densidad en la urdimbre de 12 hilos por centímetro, presentando estos hilos un grosor aproximado de 0.33 mm los cuales presentan una torsión media en Z, con un ángulo aproximado de 66.63° .

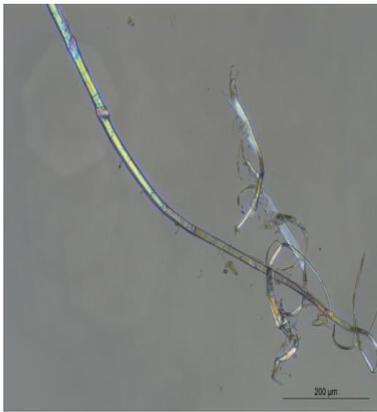


Figura 1. Lino en su visión macroscópica. Hilo de urdimbre.



Figura2. Lino en su visión macroscópica. Hilo de trama.

Por lo que respecta a la densidad de la trama presenta al igual que la urdimbre 12 hilos por centímetro, dichos hilos tienen un grosor aproximado de 0,48 mm, con una torsión media en Z, cuyo ángulo aproximado es de 69,39°.

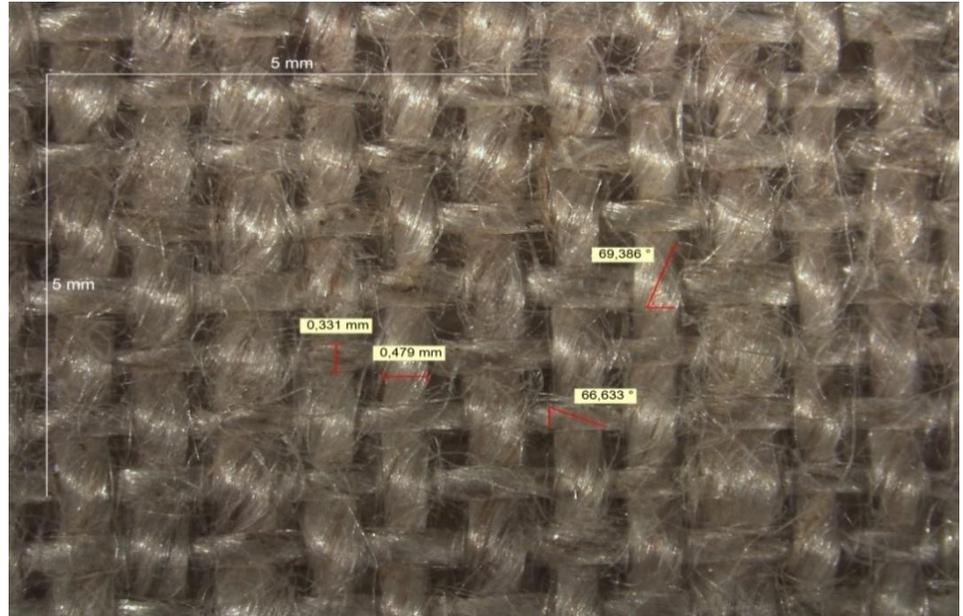


Figura 3. Vista al microscopio de las características de la pieza de lino.

3.2.2. Algodón

El algodón, al igual que el lino, es una fibra natural vegetal de tipo celulósico. No obstante este tipo de fibra extrae de la semilla de las plantas algodoneras pertenecientes al género *Gossypium barbadense* de la familia de las malváceas, cuyo fruto se caracteriza por su forma de ampolla ovoide la cual contiene numerosas semillas negras cubiertas de largos filamentos que da origen a la fibra. Cuando esta capsula se abre las fibras se secan y se enrollan sobre ellas mismas dando lugar a tubos planos y retorcidos que se abren en la base y se cierran y afilan por las puntas. A veces este retorcimiento de las fibras se invierte, pudiendo incluso una misma fibra hacerlo tanto en un sentido como en el contrario.

Del mismo modo que sucede con el lino, el algodón, presenta resistencia a un medio alcalino moderado, sin embargo, no se ve afectado por medios ácidos. Es altamente higroscópico ya que absorbe la humedad con gran facilidad, lo cual provoca el aumento de su volumen que posteriormente lleva a su encogimiento en longitud influyendo este en la zona amorfa y cristalina de la fibra.

Respecto a sus características morfológicas longitudinales, se observa que el algodón presenta una forma tubular colapsada que se presenta torcida a intervalos regulares. En lo referente a su sección transversal su forma es casi circular (fig. 4 y 5).

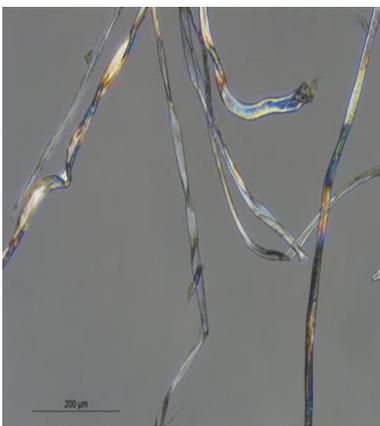


Figura 4. Vista macroscópica del algodón. Hilo de urdimbre.

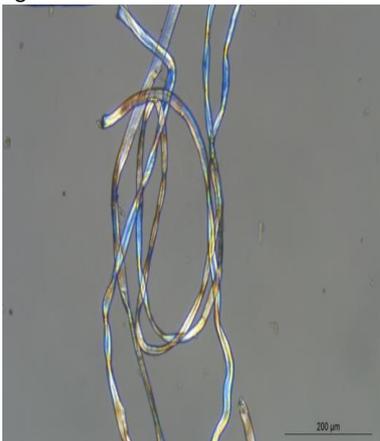


Figura 5. Visión macroscópica del algodón. Hilo de trama

Tras su examen al microscopio (aumento 10x) (fig. 6) se puede decir que el tejido de algodón elegido es un tafetán (1 e 1) cuya densidad es de 10 hilos por centímetro en la urdimbre, estos hilos muestran un grosor aproximado de 0,42 mm. La urdimbre además presenta torsión alta en sentido Z, con un ángulo aproximado de $45,63^\circ$. En lo referente a la trama su densidad es de por 8 hilos por centímetro, presentando los hilos un grosor aproximado de 0,87 mm. El hilo de trama se compone de dos cabos con torsión floja en Z, mostrando unos ángulos aproximados de $74,91^\circ$ y $81,96^\circ$ respectivamente, y unidos entre sí mediante torsión S.

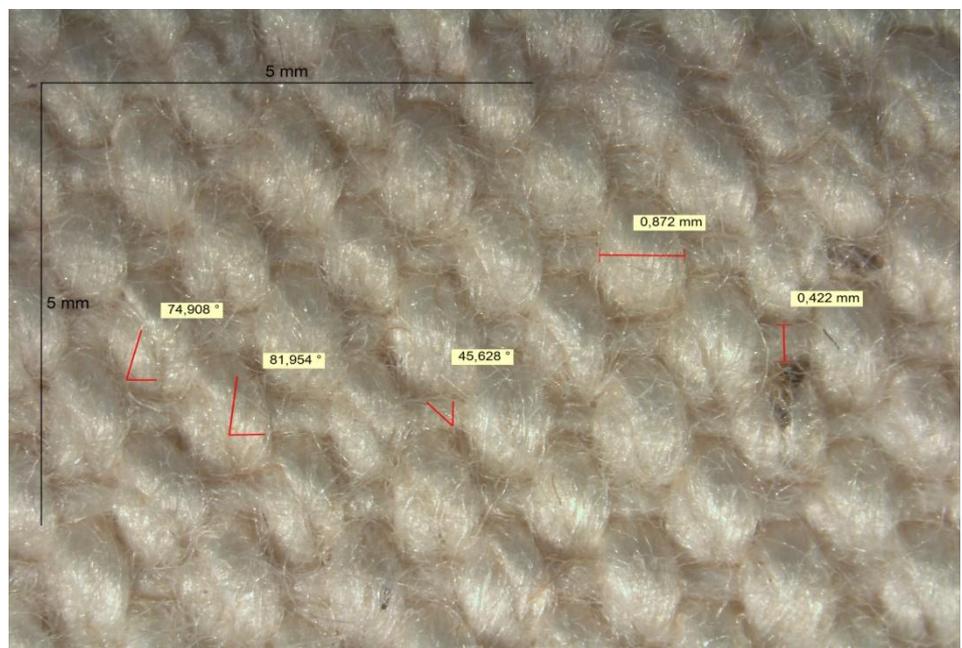


Figura 6. Características del tejido de algodón en su vista el microscopio.

Como se ha señalado en la descripción de ambas piezas textiles, éstas están formadas por fibras de tipo celulósico y de origen vegetal, por lo que su componente principal es la celulosa, esta es un polisacárido que se encuentra formado por anillos de glucosa unidos entre sí mediante un enlace beta glicosídico, es decir, la unión se realiza por átomos de oxígeno en sus carbonos 1 y 4 cuyo grupo reactivo son los radicales OH, grupo hidroxilo. Estas características permiten la creación de puentes de hidrogeno con cadenas contiguas de celulosa. Esto provoca que allí donde las cadenas formen puentes de hidrogeno sean denominadas áreas cristalinas y sean difíciles de penetrar, además de dar estabilidad estructural. Además de estas áreas cristalinas hay áreas donde no se da la posibilidad de crear estos puentes de hidrogeno se conocen como áreas amorfas, en las cuales la penetración del agua se produce de manera más fácil. Esto provoca que en ambos casos, debido tanto a su estructura física como a su composición química, sean materiales muy poco absorbentes a los rayos X.

3.3. REALIZACIÓN DE LAS RADIOGRAFÍAS DE LAS PIEZAS TEXTILES

La obtención de radiografías de buena calidad de materiales textiles es posible dentro de los registros digitales, siempre y cuando se seleccione el kilovoltaje (kV) correcto para este tipo de material. Rango que siempre será uno de los más bajos que se puede conseguir en el equipo.

Como se ha señalado, radiografiar textiles entraña ciertas dificultades, derivadas de la naturaleza de los materiales que los constituyen, influyendo la estructura y forma de sus componentes individuales. Pero la variable más importante es su coeficiente de atenuación, que se situaría en un rango muy bajo o próximo a lo que serían materiales como el agua, o simplemente un volumen de aire.

En el caso de los materiales objeto de estudio de este trabajo, algodón y lino, tienen un bajo peso atómico. Además en relación al diámetro de sus fibras textiles pueden llegar a tener densidades bastante bajas, consecuencia de las finas paredes y celda de sus cavidades.

Las piezas textiles, así mismo, pueden contener algo de agua, dependiendo del tipo de hidratación de las mismas derivado del tipo de fibra y de la humedad relativa del ambiente. Un simple hilo puede ser por sí mismo radioluciente, cuando el haz de rayos X penetra a través del material textil.

También hay que tener en cuenta que la estructura de los textiles manufacturados suele ser muy delgada, por lo que puede llegar a producirse una diferencia en la atenuación sufrida por el haz de rayos X, entre un hilo y dos hilos cruzados. No obstante, esto puede tener muy poco efecto en el total de la intensidad del rayo, ya que puede suceder que, incluso utilizando la mínima penetración de rayos X de baja energía, las radiografías resultantes puedan tener a menudo un contraste muy bajo.

Puede suceder que, la superposición de tejidos con otros materiales de mayor radioopacidad conlleve que la imagen obtenida de dichos materiales provoque la visión dificultosa de la pieza textil o enmascare su presencia.

La calidad o sensibilidad de la radiografía de los textiles, es un factor de gran importancia, ya que puede permitir que se muestren detalles de un tamaño dado, permitiendo la ampliación para su examen.

Los cambios bruscos, a la hora de llevar a cabo el proceso de radiografiado de las piezas textiles, puede acarrear que se produzca un cambio en la radioopacidad, lo cual puede provocar un cambio agudo en la densidad de la imagen, ya que entre los hilos del tejido se establecen delicados puentes que

pueden verse alterados, modificando sus características. Los hilos suelen ser más gruesos en su centro que en sus extremos ya que de forma gradual estos van volviéndose más finos. Esto conlleva que, como se ha señalado, a la hora de realizar la radiografía se observe una transición gradual en la densidad de la radiografía entre los hilos y el fondo.

Si el textil se encuentra estrechamente tejido la definición entre un hilo y otro puede perderse en el total, lo cual provoca que la imagen obtenida se presente sin rasgos distintivos, no obstante, esta información puede ser recuperada a través de su digitalización. Lo que no se puede evitar es que algunas de las áreas del tejido, dadas sus características, salgan borrosas.

Para evitar esto, se propone, en el caso de piezas textiles, el uso de rayos X de baja energía en la realización de la radiografía, lo cual provoca que, en ésta se obtenga una mayor definición⁹. Sin embargo, muchos de los materiales culturales requieren generalmente rayos de alta energía y son pocos los que requieren rayos X por debajo de los 40 kV.

Los rayos X de más baja energía, los que se encuentran entre 5 kV y 30 kV, son los denominados rayos de Grenz, los cuales son de gran utilidad para llevar a cabo radiografías de materiales orgánicos de bajo peso molecular, ya que producen un alto contraste en las imágenes absorbiendo los rayos X. En materiales culturales solo el papel y los textiles utilizan estos rayos de baja energía¹⁰.

No todas estas técnicas son de aplicación al estudio de los textiles, ya que en ciertos casos plantean retos en su escaneo. Las unidades industriales de rayos X de alta definición, suelen ser las más adecuadas para llevar a cabo trabajos en materiales textiles¹¹. La unidad de rayos X, ha de ser capaz de operar por debajo de los 5 kV o 10 kV y de tener un límite de operación superior de al menos 120 kV.

Las unidades de mamografía modernas han dado buenos resultados con objetos de pequeño tamaño, los cuales requieren exposiciones de entre 16 kV hasta 35 kV. Normalmente el equipo de rayos X utilizado para diagnósticos médicos no es el adecuado para captar imágenes de bajo kV, donde la energía del rayo requerida es de sobre los 40 kV. Un tubo de rayos X con una salida alta de bajo intervalo de kV puede ayudar a que los tiempos de exposición se puedan realizar en un tiempo relativamente corto.

⁹ O'CONNOR, S; BROOKS, M. *X-radiography of textiles, dress and related objects*, 2007 p. 24.

¹⁰ *Ibíd.* p. 25.

¹¹ *Ibíd.* p.25.

La falta de nitidez en las radiografías puede reducirse si se incrementa la distancia de enfoque, lo cual conlleva a una reducción en la intensidad del rayo. No obstante, en imágenes de más baja energía, esta reducción de la distancia de enfoque no tiene resultados favorables ya que, la columna de aire presente en la trayectoria del rayo actúa como un tipo de filtro que produce la atenuación del rayo por debajo de los 20 kV. Este efecto de reducción de la intensidad del rayo sufre un aumento cuando decrece la energía de los rayos X, quedando marcado por debajo de 17,5 kV.

No hay que olvidar que la radiografía debe ser parte del estudio de los textiles junto con el examen visual, la fotografía y la microscopía. La radiografía proporciona información vital que puede ser utilizada para la revisión de tratamientos realizados sobre una pieza y los cambios que estos hayan podido sufrir.

La calidad de la imagen radiográfica puede verse comprometida si los tejidos son superpuestos a un objeto, ya que las capas de tejidos pueden conllevar la pérdida de contraste de la imagen, lo cual puede interferir en la visión de los detalles como por ejemplo las puntadas.

Un ejemplo de esta complejidad a la hora de llevar a cabo este tipo de trabajos se encuentra en el estudio realizado en el Laboratorio de Rayos X del Instituto Universitario para la Restauración del Patrimonio, de la Universitat Politècnica de València, en noviembre de 2012. En él, se radiografió el cuerpo de un traje de mujer (fig. 7 y 8). Para la obtención de estas radiografías se utilizó 37 kV, 20 miliamperios (mA) de intensidad y 3 segundos de exposición en cada una de las 6 placas que componen el mosaico radiográfico de la obra. La distancia a la que se colocó la fuente para este estudio fue de 110 cm.



Figura 7. Colocación de la pieza para proceder a su radiografía.



Figura 8. Radiografía obtenida del cuerpo del traje.

3.3.1. Realización de probetas

Para llevar a cabo las radiografías de las piezas textiles seleccionadas, se ha optado por la realización de dos probetas, la primera de ellas un tejido de lino (fig. 9) y la segunda un tejido de algodón (fig. 10), como objeto de estudio de este trabajo.

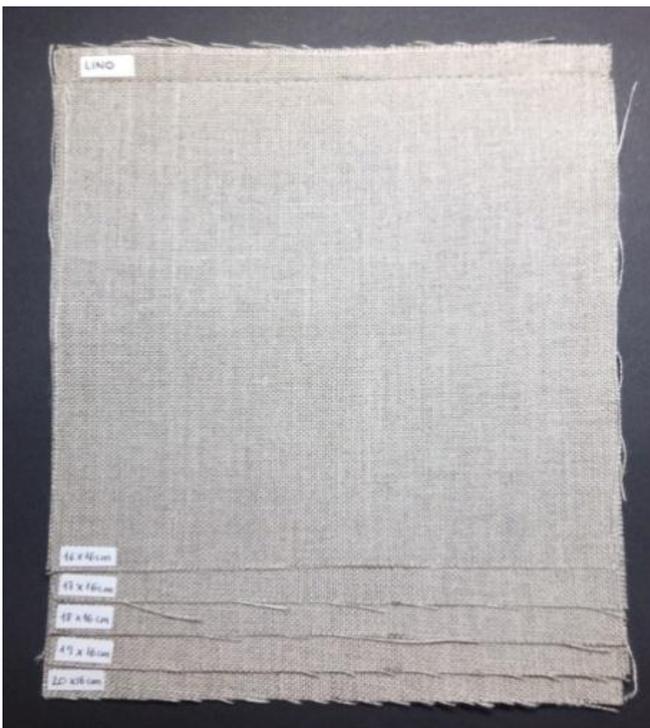


Figura 9. Probeta con tejido de lino.

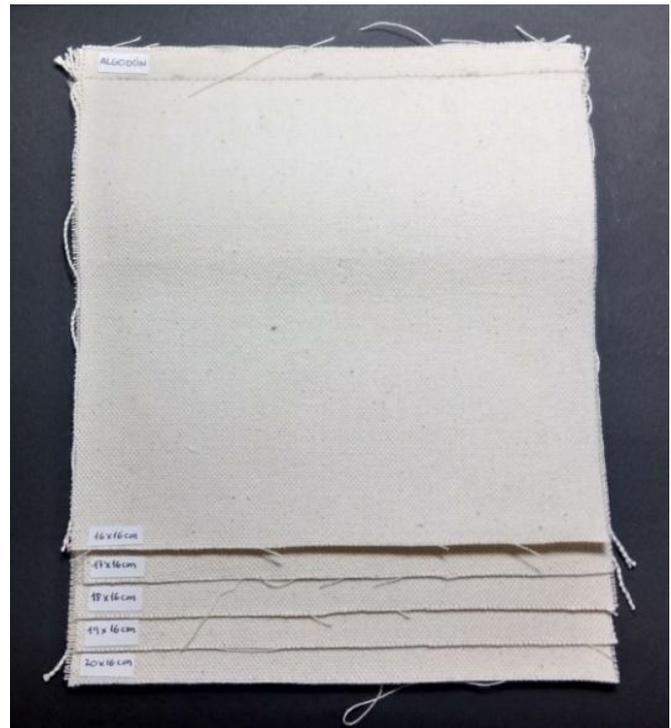


Figura 10. Probeta con tejido de algodón.

Para la realización de las mismas se han cortado ambos tejidos en cinco trozos, que posteriormente serán superpuestos uno sobre otro, con las siguientes medidas:

- 21 × 17 cm
- 20 × 17 cm
- 19 × 17 cm
- 18 × 17 cm
- 17 × 17 cm

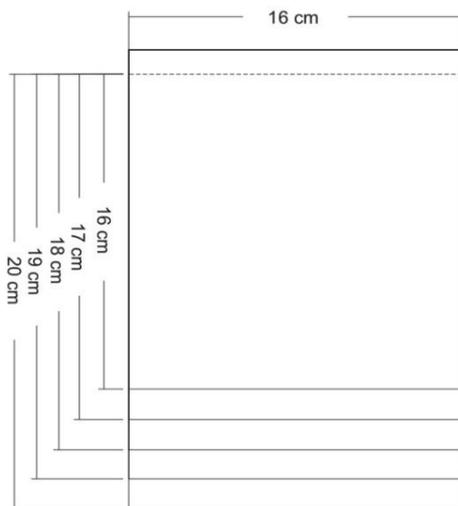


Figura 11. Croquis del tamaño final de las probetas.

Una vez cortadas, y como se ha señalado anteriormente, se ha superpuesto una capa sobre otra y a continuación, se han cosido en su lateral a modo de libro dejando un centímetro de margen con lo cual las medidas con las que se ha realizado el estudio han variado en su largo, ya que han perdido un centímetro debido a la costura, pero no en su ancho que se ha mantenido en los 16 cm.

Una vez cosidas se ha procedido al etiquetado de las mismas para tener la referencia del material que constituye la probeta, además de indicar, en la esquina inferior izquierda, las medidas de cada una de las capas que componen cada una de las probetas (fig. 11).

Las medidas de las probetas vienen marcadas por el sensor de radiación producida por la fuente de rayos X, ya que el diámetro de este es de 15 cm. No obstante se ha dejado un centímetro de margen para evitar que la probeta no se ajustara de manera correcta al sensor.

La probeta de lino tiene un espesor parcial de aproximadamente 0,5 mm, lo cual supone un espesor global estimado de 2,5 mm. En el caso de la probeta de algodón presenta un espesor parcial aproximado de 1 mm, lo cual le otorga un espesor global de aproximadamente 5 mm. Con ello hemos conseguido generar una escala densitométrica como sucedería en materiales de otro tipo. Esta emula a los denominados phantom utilizados en radiología para ver la calidad radiográfica, a la hora de la absorción de los rayos X.

3.3.2. Equipo de rayos X

Las pruebas radiográficas se han realizado en la instalación del Laboratorio de Inspección Radiológica, del Instituto Universitario para la Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València. Laboratorio que cuenta con un equipo de rayos X, TRANSPORTIX 50, de la empresa General Electric, con un tubo de rayos X de 3 kW y un foco de 2,3 con sólo una filtración total de 2 mm de aluminio, características que le permiten trabajar en voltajes muy bajos con un rango de 20 a 110 kV. Contando para este trabajo con placas digitales CR MDT4.0T.



Figura.12. Colocación de la probeta en el digitalizador para realizar la radiografía.

El estudio radiográfico se ha fundamentado en la obtención de la superficie completa de las probetas preparadas para este estudio en placas de placas de 35×45 cm y procesadas a través de un digitalizador CR 30-X.

Para la obtención de estos registros el haz de rayos X se ha colocado perpendicular a la probeta y dirigido hacia su centro (fig. 12). El voltaje después de los ajustes previos ha sido de 38 kV, 20 mA de intensidad, con una distancia al objeto de 100 cm y una exposición de 2" en cada una de las exposiciones efectuadas (fig. 13).

Así mismo se ha obtenido la información de dosis integrada recibida en un detector RAMION, donde se ha registrado 3,3 microSievert (microSv) en vacío, o sin muestra, con los 2,6 microSv leídos en la radiografía de las probetas de algodón y 2,9 microSv en la muestra de lino. Dato que demuestra una mayor absorción en el algodón frente al lino, pero ambas muy poco significativas si las comparamos con la dosis recogida en vacío, ya que en el caso del algodón se observa una diferencia de 0,7 microSv. En el caso del lino esta diferencia es de tan solo de 0,4 microSv. Esta absorción tan bajo es fruto de las características de los materiales ya que son muy radiotransparentes debido a su baja resistencia a la radiación (fig. 14 y 15.)



Figura13. Procesado de la radiografía mediante CR 30-X.

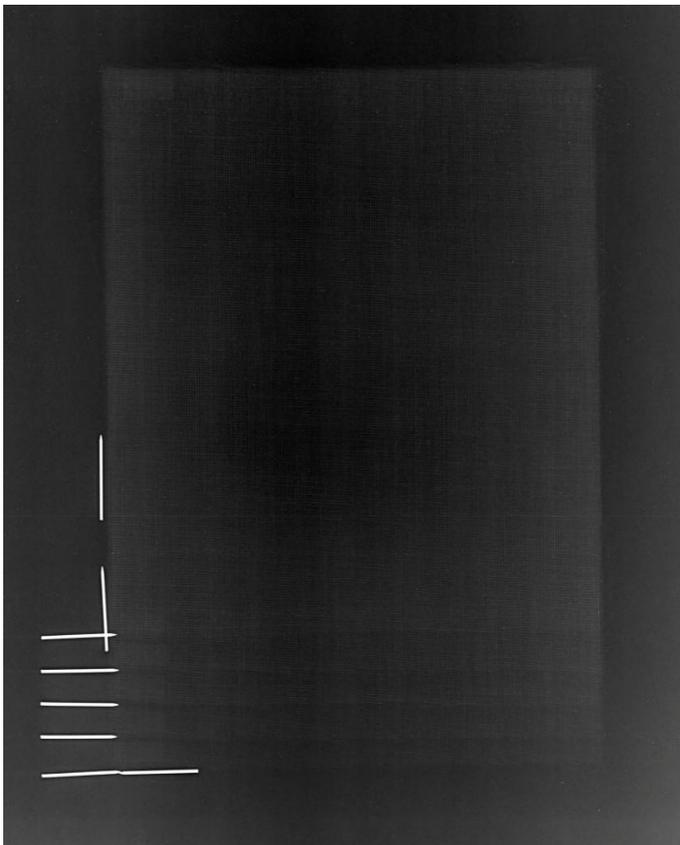


Figura 14. Radiografía del lino.

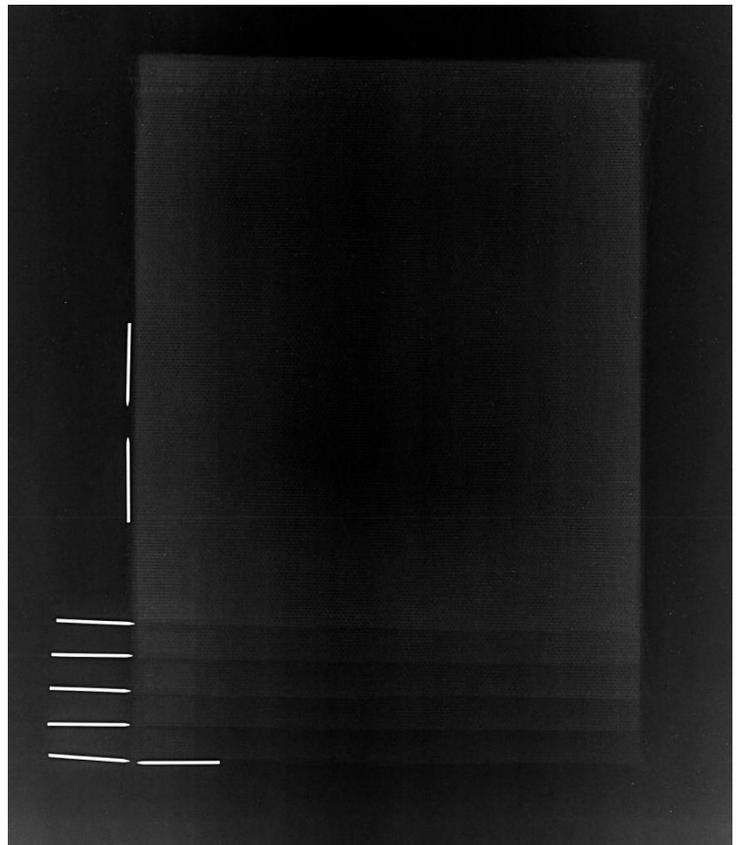


Figura 15. Radiografía del algodón.

Ha sido debido a esta radiotransparencia de los materiales radiografiados, que se han utilizado unos testigos de metal para tener referencias de donde se encuentran cada una de las capas de las probetas.

Los fundamentos del método radiográfico, han sido fundamentales a la hora de llevar a cabo esta parte del trabajo, ya que para su realización se han tenido en cuenta tanto los parámetros relacionados con la técnica de exposición y la instrumentación, tales como las variables de tensión de pico, corriente, tiempo de exposición y distancia, necesarias para poder obtener un registro final de calidad. Además de tener en cuenta las características de las probetas utilizadas, mostrando especial atención por su composición.

3.4. PROCESADO DE LAS IMÁGENES MEDIANTE *MATLAB*

Matlab, que adquiere su nombre de la abreviatura de *MATRIX LABORATORY*, es un *software* matemático, que entre sus diversas herramientas ofrece una específica para el procesado de imágenes. Funciones que lo hacen una herramienta interesante para los objetivos de este estudio. Junto a esta encontramos otras para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico, entre otras muchas funciones.

El procesado digital de imágenes (PDI) consiste en el almacenamiento, transmisión y representación de información de imágenes digitales a través de computadora digital. Esto ayuda a mejorar la información sobre una imagen ayudando a la interpretación y tratamiento de los datos de la misma. En total *Matlab* cuenta con 283 funciones destinadas a dicho procesado digital de imágenes.

Para *Matlab*, la imagen es una función de tipo bidimensional de intensidad de luz $f(x,y)$ donde x e y hacen referencia a coordenadas y el valor de f se establece en cualquier punto entre x e y , y es proporcional a la intensidad de la imagen en ese punto. En el caso de que la imagen se presente en escala de grises, se habla de nivel de gris, mientras que las imágenes en color, son una combinación de imágenes individuales, combinándose tres componentes, el rojo, el verde y el azul, es decir el espacio RGB. Las operaciones que se realicen sobre imágenes en escala de grises pueden ser aplicadas también a las imágenes en color al poder procesar cada componente por separado.

Una vez se digitaliza la imagen también lo hacen sus coordenadas mediante el muestreo y los valores de amplitud a través de la cuantificación, lo cual da como resultado la obtención de una matriz de números reales.

En el proceso de análisis de la imagen se extrae información cuantitativa de la imagen obteniéndose bien una tabla de datos, bien una gráfica o bien una representación numérica. La *toolbox* utilizada para el procesado digital de

imágenes se compone de un conjunto de funciones específicamente diseñadas para el desarrollo de aplicaciones y algoritmos para el procesado ya análisis digital de imágenes.

Matlab, proporciona diversos procesos a la hora del procesado digital de imágenes, lo cual proporciona una visión general y más estructurada. Estos procesos se pueden clasificar en tres categorías, donde los algoritmos que intervienen son diferentes. Estas categorías son:

- La mejora o realce de la imagen, lo que conlleva el mejorado de la nitidez, el aclarado de la imagen, la eliminación del ruido.
- La restauración de la imagen, esta función revierte el daño producido a una imagen por causas desconocidas. Esta función puede ser útil a la hora de eliminar el desenfoque causado por el movimiento, eliminar distorsiones de tipo óptico, eliminar interferencias periódicas.
- La segmentación de la imagen, esta función actúa subdividiendo la imagen en partes o aislando fragmentos de una imagen. Es de utilidad en la selección y búsqueda de determinadas formas en la imagen.

A la hora de realizar el procesado digital de imágenes, será la complejidad de la acción que se vaya a ejecutar la que determine el número de procesos oportunos para la resolución del problema. Los pasos más habituales a seguir son los siguientes:

- Adquisición de la imagen, en ocasiones y dependiendo del tamaño de la imagen, este paso viene precedido de un tratamiento previo de la imagen en programas dedicados a tal fin.
- Mejora de la imagen, este es un paso subjetivo, lo cual influirá en el resultado final.
- Restauración de la imagen, a pesar de su similitud con el paso anterior, en este caso, la mejora de la imagen es objetiva, ya que en este proceso los modelos tienden a ser probabilísticos o matemáticos de degradación de la imagen.
- Procesado del color, en función de este la imagen puede ofrecer más o menos información.
- Ondículas, se utilizan para representar imágenes en diferentes grados de resolución.
- Compresión, para la reducción en el almacenamiento de la imagen.
- Operaciones morfológicas, con ellas se extraen componentes de la imagen que pueden ser de gran utilidad para la representación y descripción de las formas.
- Segmentación, se produce la división de la imagen en las partes que la constituyen. Este es uno de los procesos que mayor complejidad entraña el procesado digital de imágenes.

- Representación y descripción, en ella se obtienen los atributos útiles, extrayendo información cuantitativa.
- Reconocimiento, en este paso, se asigna una etiqueta a un objeto o grupo de objetos.

La lectura de imágenes en *Matlab*, se realiza mediante líneas de comando, a través de la función *imread*, expresada del siguiente modo: $I = imread('nombre_archivo')$.

La *toolbox* de procesamiento digital de imágenes de *Matlab* es capaz de soportar imágenes obtenidas por una amplia gama de dispositivos, como cámaras digitales, microscopios, imágenes de rayos X entre otras. Además puede soportar diferentes formatos de datos e imágenes, por ejemplo, imágenes JPEG, TIFF, PNG, datos de Excel, archivos binarios e incluso formatos de imagen más especializados como imágenes multibanda BIP y BIL que son utilizados en los satélites LANDSAT.

A continuación se muestra el ejemplo de una imagen a escala de grises (fig. 16) procesada mediante *Matlab*, donde se puede observar cómo se crea una gráfica 3D de una imagen 2D. Tras introducir la imagen mediante la función $I = imread('bandas.tif');$, se pasa a la conversión de la imagen a una gráfica mediante el comando *mesh (I)* (fig. 17 y 18).

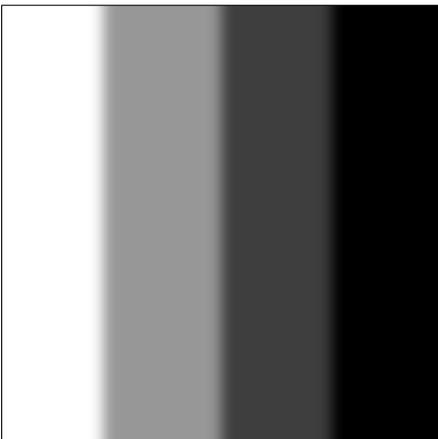


Figura 16. Imagen escala de grises a 8 bytes.

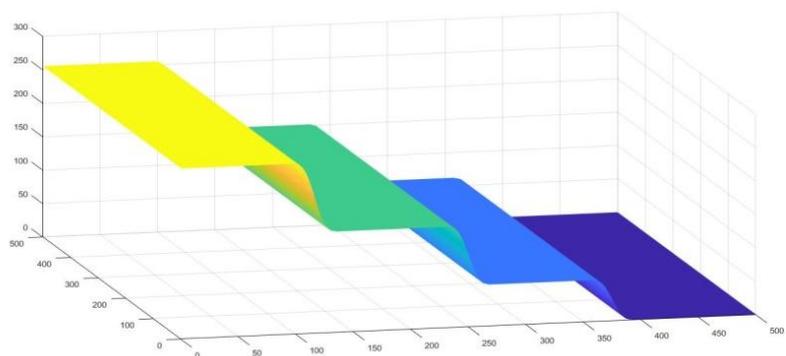


Figura 17. Gráfico obtenido tras el tratamiento de la imagen mediante *Matlab*.

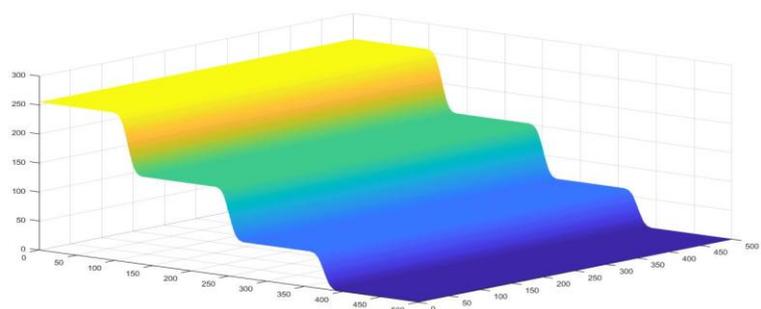


Figura 18. Gráfico obtenido tras el tratamiento de la imagen mediante *Matlab*.

Otro ejemplo, del uso de *Matlab* a la hora de ver los distintos niveles densitométricos de una imagen, se encuentra en las pruebas de Lainsa, realizadas al equipo de rayos X a modo de test de calidad de la imagen (fig.19 y 20) donde entre otras muestras, se puede observar una escala densitométrica (fig. 21), lo cual sirve para ilustrar uno de los objetivos planteados en este trabajo, como se observa en las imágenes obtenidas tras el procesado de las mismas en *Matlab*, viéndose las diferencias densitométricas (fig. 22 y.23).

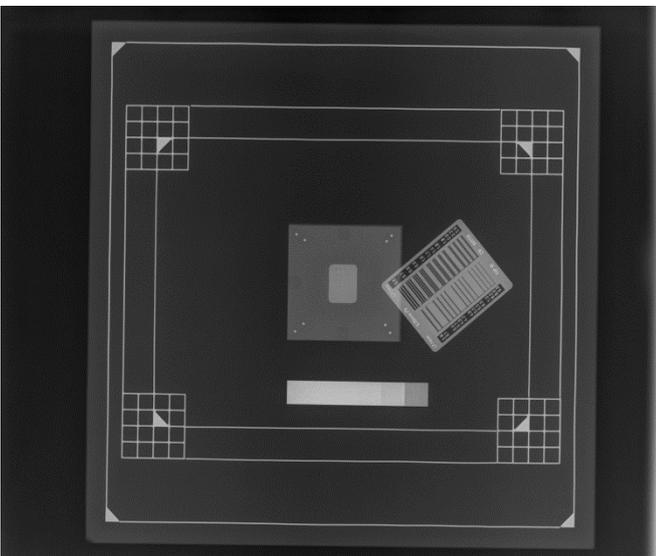


Figura 19. Carta de pruebas de Lainsa.

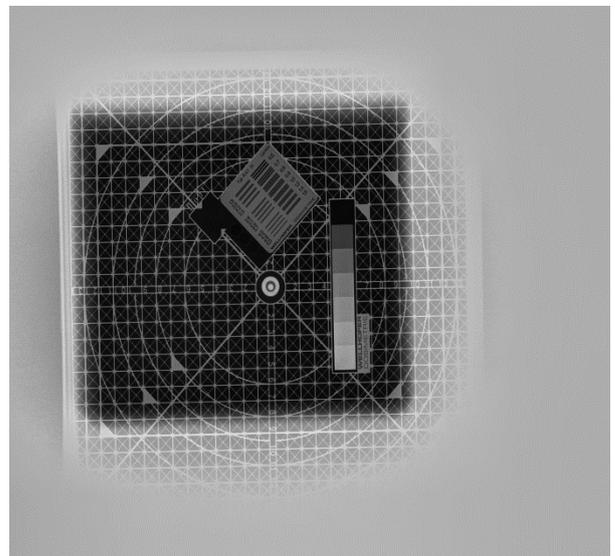


Figura 20. Radiografía de la prueba de calidad de la imagen.



Figura 21. Recorte de la escala densitométrica radiografiada en las pruebas.

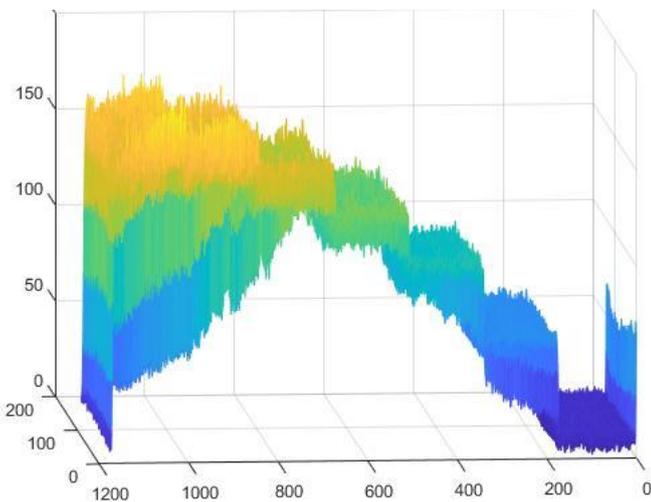


Figura 22. Resultado obtenido en *Matlab* tras procesar la imagen.

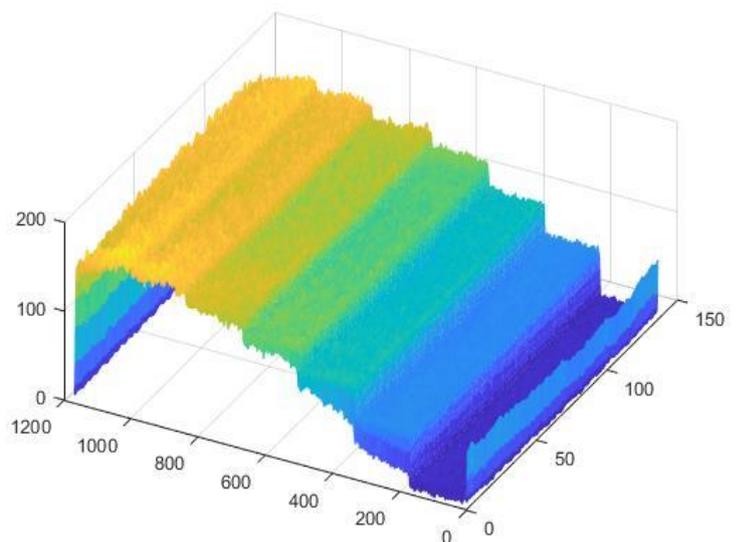


Figura 23. Gráfico obtenido en *Matlab* tras procesar la imagen.

3.4.1. Lino.

En primer lugar y antes de mostrar el proceso de simulación gráfica del coeficiente de atenuación lineal del lino y el algodón, se va a definir el concepto de coeficiente de atenuación lineal, este también puede encontrarse bajo la denominación de coeficiente de absorción. Este, no es más que el cociente entre la energía que absorbe y la energía que incide sobre la superficie de un material. El coeficiente de atenuación no solo depende de la naturaleza de la materia sobre la que trabaja, sino que también puede sufrir variaciones de acuerdo a la energía recibida de los rayos X. En teoría la radiación inicial recibida por el material, no llegará a anularse de forma total, ya que la materia no llega a absorber completamente la radiación.

A continuación se muestra el resultado de la simulación gráfica del coeficiente de atenuación lineal del lino. Para llevar a cabo esta simulación en *Matlab*, se ha tratado la imagen obtenida, tras la realización de la radiografía, mediante *Phostohop*, ya que el tamaño inicial de la imagen, era demasiado pesado para este *software* matemático.

Primeramente, se ha recortado la imagen, con el fin de retirar los testigos de metal, ya que estos pueden interferir en el resultado final de la simulación. A continuación se ha pasado la imagen a escala de grises de 8 bytes. Seguidamente, se han modificado sus dimensiones a 500 píxeles de ancho por 500 píxeles de alto con una resolución de 300 ppp. Con lo cual se ha obtenido la reducción del peso inicial de la imagen de 32,6 MB a 520 KB.

Preparada la imagen para su procesado, se ha introducido en *Matlab* mediante la función $I = \text{imread}(\text{'ensayo_lino_8_300.tif'})$. Para después ser procesada mediante la función $\text{mesh}(I)$ obteniéndose los siguientes resultados (fig. 24 y 25).

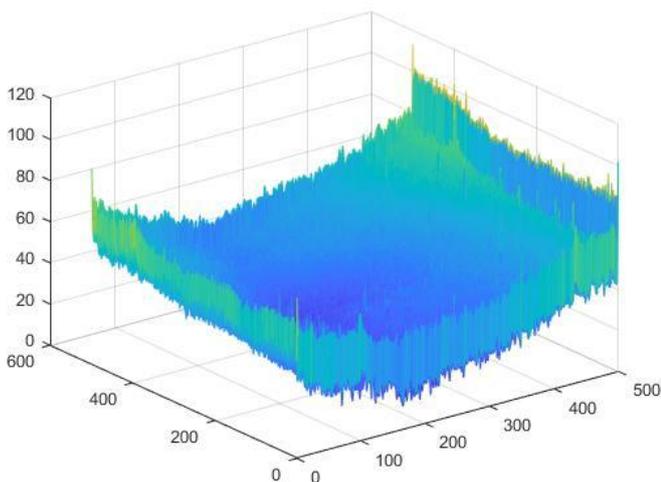


Figura 24. Resultado del procesado de la imagen del lino en *Matlab*.

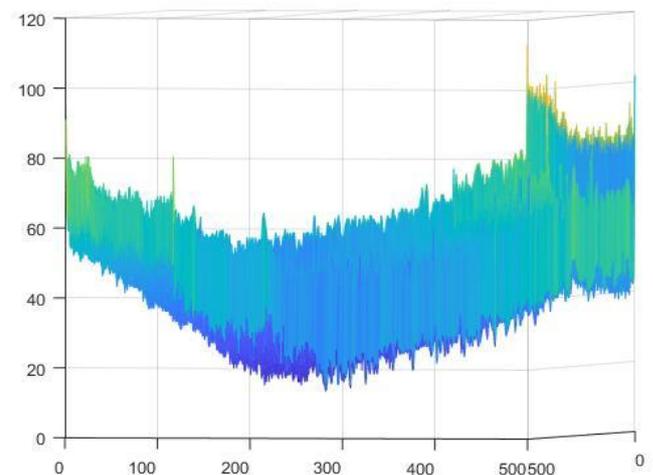
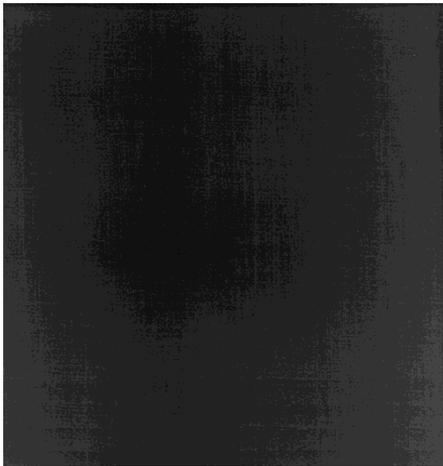


Figura 25. Resultado del procesado de la imagen del lino en *Matlab*.



Dado que los resultados obtenidos no son del todo claros, se ha decidido posterizar la imagen mediante *Photoshop* a 16 niveles con el fin de lograr una mejor simulación gráfica (fig. 26). Lista la imagen, se ha introducido de nuevo siguiendo los pasos anteriores, obteniendo resultados más adecuados al propósito de este trabajo (fig. 27 y 28)

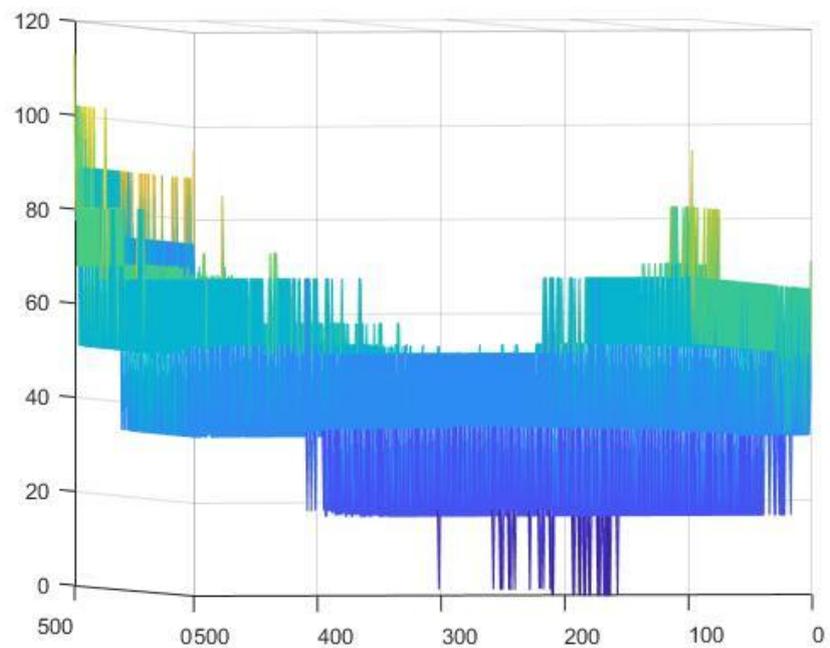


Figura 27. Resultado obtenido tras el procesado de imagen mediante *Matlab*.

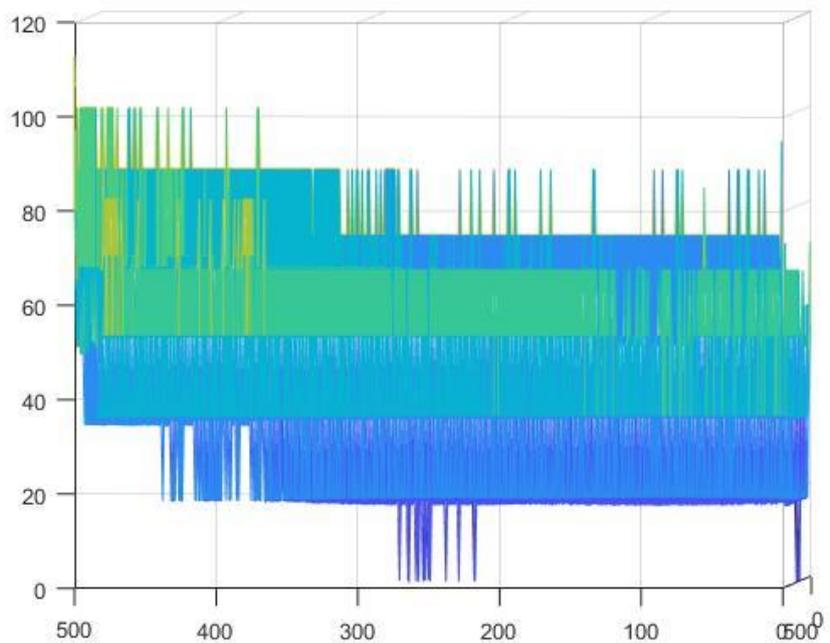


Figura 28. Resultado obtenido tras el procesado de imagen mediante *Matlab*.

Figura 26. Imagen del lino posterizada a 16 niveles.

Como se observa en ambas gráficas, y comparando estas con la imagen de objeto de estudio, las zonas más oscuras pertenecen a las zonas de menor espesor, obteniéndose una mayor absorción de los rayos X, mientras que por el contrario las zonas, con menor oscuridad, indican como paulatinamente aumenta el espesor, lo cual produce una menor absorción de los rayos X. Estas gráficas permiten ver en qué puntos se ha producido una mayor absorción de energía y cuanto y en qué puntos esta ha incidido más, observándose una mayor incidencia de esta en los picos más bajos de la gráfica, representados en azul oscuro.

3.4.2. Algodón.

Una vez mostrado el resultado de la simulación gráfica del coeficiente de atenuación lineal del lino, se va a realizar el mismo proceso para llevar a cabo esta simulación con el algodón. Para ello, al igual que en el caso del lino, se ha tratado la imagen obtenida, tras la realización de la radiografía, mediante *Phostohop*, ya que el tamaño inicial de la imagen, era demasiado pesado para poder ser procesada mediante *Matlab*.

Se han recortado la imagen original los testigos de metal, para evitar que estos puedan interferir en el resultado final de la simulación. A continuación se ha pasado la imagen a escala de grises de 8 bytes. Para a continuación modificar sus dimensiones a 500 pixeles de ancho por 500 pixeles de alto con una resolución de 300 ppp. Con lo cual se ha obtenido la reducción del peso inicial de la imagen de 33,6 MB a 527 KB.

Lista ya la imagen para su procesado, se ha introducido en *Matlab* mediante la función `I = imread('ensayo_algodon_8_300.tif')`. Para seguidamente, ser procesada mediante la función `mesh(I)` obteniéndose los siguientes resultados (fig. 29 y 30).

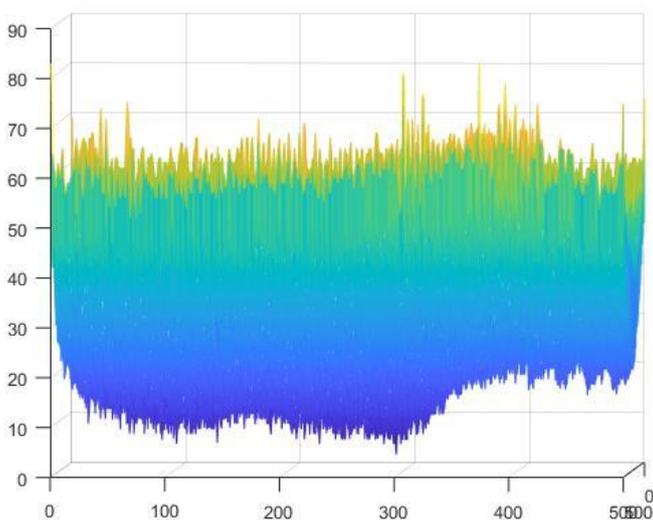


Figura 29. Resultado del procesado de la imagen del algodón en *Matlab*.

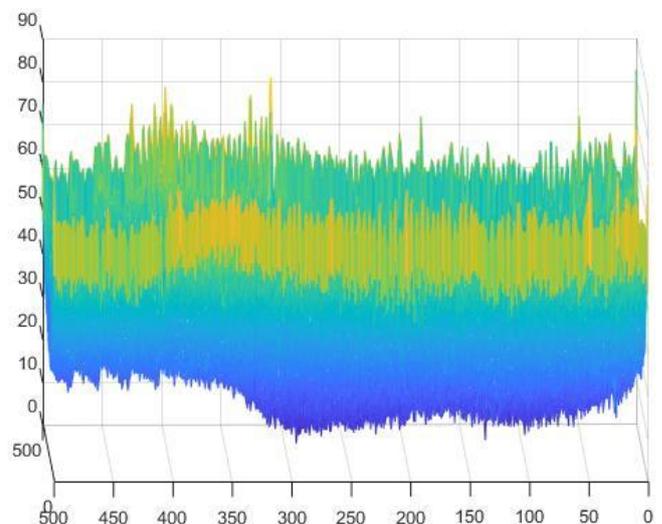


Figura 30. Procesado de la imagen del algodón en *Matlab*.



Figura 31. Imagen del algodón posterizada a 16 niveles.

Del mismo modo que ha sucedido en el caso del lino, los resultados obtenidos no son los adecuados al resultado buscado, por lo que, de nuevo, se ha decidido posterizar la imagen mediante *Photoshop* a 16 niveles para así lograr simulación gráfica sea de mayor calidad y claridad respecto al objetivo (fig. 31). De nuevo, y ya modificada la imagen, se han seguido los pasos realizados anteriormente. Como ha ocurrido en el caso del lino, los resultados obtenidos son más adecuados al propósito de este trabajo (fig.32 y 33).

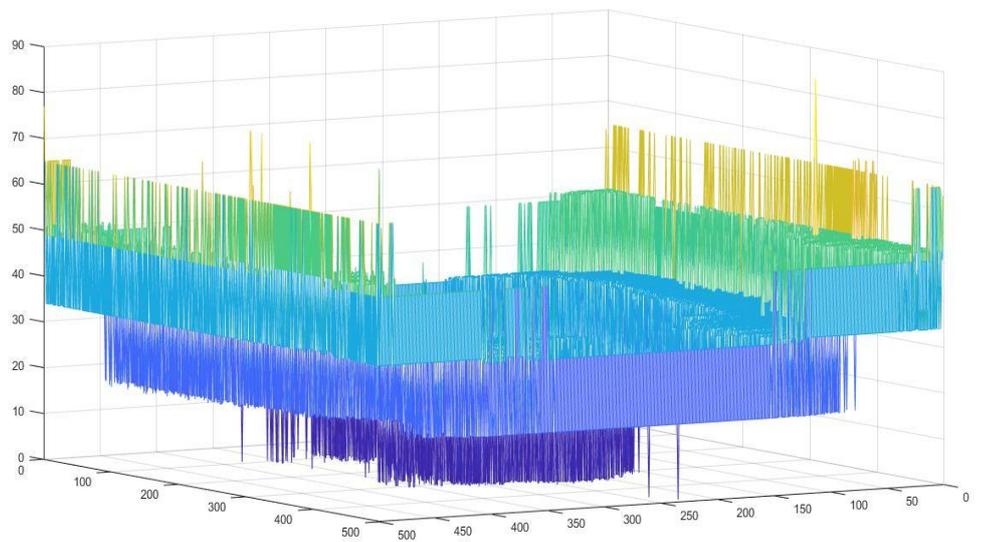


Figura 32. Resultado obtenido tras el procesado de imagen del algodón mediante *Matlab*.

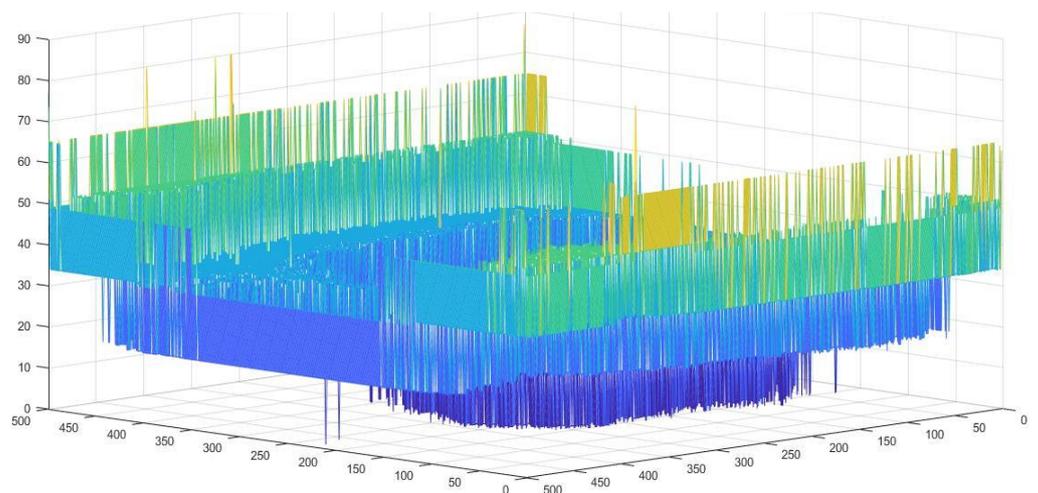


Figura 33. Resultado obtenido tras el procesado de imagen del algodón mediante *Matlab*.

Del mismo modo que se ha procedido anteriormente, se han vuelto a comparar la imagen de fuente de estudio. Al igual que ha sucedido en el caso del lino, las zonas de mayor oscuridad pertenecen a las zonas con un menor espesor, dándose por tanto, una mayor absorción de los rayos X, mientras que aquellas zonas, con una menor oscuridad, indican cómo se produce un aumento del espesor, lo cual produce una menor absorción de los rayos X. las gráficas ofrecen la posibilidad de ver cuáles han sido los puntos donde se ha registrado una mayor absorción de energía, algo imperceptible por el ojo en una radiografía, pudiéndose observar los puntos donde se ha producido una mayor incidencia de energía. Esta mayor incidencia puede observarse en los puntos más bajos de la gráfica, representados en azul oscuro, mientras que las zonas de menor incidencia aparece en amarillo.

Como se puede observar, la simulación grafica del algodón se presenta con una mayor calidad que la del lino, pudiéndose distinguir mejor los diferentes niveles de absorción. Esto es debido a la diferencia densitométrica de ambas probetas, ya que la del lino presenta un menor espesor que la de algodón, lo cual influye tanto en la realización de la radiografía, como en su posterior procesado digital mediante *Matlab*.

4. CONCLUSIONES

Una vez finalizado este trabajo sobre la simulación gráfica del valor del coeficiente de atenuación lineal del lino y el algodón, estas son las conclusiones extraídas en torno al mismo.

Tras la realización de la búsqueda bibliográfica en busca de antecedentes de la realización de rayos X aplicados a los soportes textiles, encontramos que las referencias sobre este tema son más bien escasas y que se remontan a hace unas cuantas décadas atrás. Quizá esta falta de estudios sobre este tema venga derivada de la complejidad que entraña llevar a cabo radiografías de unos materiales tan radiotransparentes a la exposición a los rayos X. no obstante y a pesar de parecer un inconveniente, es todo lo contrario ya que deja abierta una puerta a la realización de futuras investigaciones sobre este tema.

El estudio de las características morfológicas tanto del lino como del algodón ha sido de gran utilidad, ya que gracias a esta caracterización, se ha podido constatar que es debido a su estructura física como a su composición química, estos materiales textiles muestran muy poca absorción a los rayos X.

A la hora de llevar a cabo la realización de las radiografías ha sido de gran utilidad que el equipo de rayos X del Laboratorio de Inspección Radiológica del Instituto Universitario de restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València, pueda trabajar bajando a rangos de 20-30 kV, como indicador de la penetración de los rayos X, ya que los rangos en los que trabajan las unidades actuales son excesivamente potentes para obtener radiografías de materiales ligeros, desde el punto de vista de la radioabsorción, ya que estos dispositivos en su gran mayoría trabajan en voltajes próximos a los 50 kV. Esto es precisamente lo que hace idóneo a este equipo ya que como se ha señalado en el trabajo para llevar a cabo la radiografía de materiales textiles es mejor trabajar en rangos bajos de voltaje para obtener radiografías de mejor calidad.

Después de haber estado indagando en las posibilidades que ofrece el *software* matemático *Matlab*, decir que estas son muy variadas, debido al gran número de funciones que dispone. Dado que este trabajo es una aproximación a esta herramienta, muchas de estas funciones han quedado a la espera de una futura investigación, en la que poder exprimir al máximo las posibilidades del programa sin tener que recurrir a segundos programas, como en este caso ha sido el uso de *Photoshop* para el procesado inicial de la imagen. El uso de este ha estado motivado por la complejidad que entraña *Matlab* entre sus múltiples operaciones para el procesado digital de imagen.

No obstante, los objetivos planteados en este trabajo, se han llevado a término obteniendo un resultado satisfactorio, teniendo en cuenta que este, como se ha señalado, es un trabajo de aproximación, un trabajo en el que comenzar a encajar unas piezas, para que, en un futuro se pueda incorporar *Matlab* como una herramienta más en el estudio de bienes culturales, aportando una mejora a las técnicas de análisis no invasivas y ayudando a una mejor conservación de nuestro patrimonio.

5. BIBLIOGRAFÍA

CALVO, A. *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos. De la A a la Z*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 2003.

CHULIÁ, I. SARRIÓ, M^a F. FERRAZZA, L. MADRID, J.A. PÉREZ, J. "Valoración científico-técnica de la pintura sobre cobre: Casos de estudio". En *Painting on copper and other metal plates. Production, Degradation and Conservation Issues*. Valencia, 2017.

.HUERTAS, M. *Materiales, procedimientos y técnicas pictóricas I*. Madrid: Akal, 2010.

LAORDEN, E. *Descripción, comparación y ejemplos de uso de las funciones de la toolbox de procesamiento digital de imágenes de Matlab* [proyecto final de carrera]. Madrid: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid, 2012.

MADRID, J.A. *Aplicación de la técnica radiográfica en la Conservación y Restauración de Bienes Culturales*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2006.

O'CONNOR, S; BROOKS, M. *X-radiography of textiles, dress and related objects*. Oxford: Elsevier, 2007.

VV.AA. *Identificación de fibras textiles*. Barcelona: Editorial Blume, 1968.

Webs

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. Gráficas con *Matlab*. Madrid: Departamento de Matemática Aplicada.[consulta:3/7/2017]. Disponible en:<https://www.mat.ucm.es/~rrdelrio/documentos/rrrescorial2002.pdf>

UNIVERSIDAD DE NAVARRA. *Estereorradiografía*. Navarra: Clínica de Universidad de Navarra. [Consulta: 26/6/2017]. Disponible en: <http://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/estereorradiografia>

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. *Introducción a Matlab*. Valencia: Departamento de Matemática Aplicada. [Consulta: 25/3/2017]. Disponible en:<http://personales.upv.es/jbenitez/data/matlab.pdf>

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. *Procesamiento de imágenes con Matlab*. Sevilla. [Consulta: 7/04/2017]. Disponible en: http://asignatura.us.es/imagendigital/Matlab_PID_1314.pdf

UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. *Matlab. Introducción al procesamiento de imágenes.* Valencia. [Consulta: 7/4/2017]. Disponible en: <http://informatica.uv.es/iiguia/VC/tutorial.pdf>

6. ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura1. Lino en su visión macroscópica. Hilo de urdimbre	13
Figura2. Lino en su visión macroscópica. Hilo de trama.....	13
Figura 3. Vista el microscopio de las características del la pieza de lino.....	14
Figura 4. Vista macroscópica del algodón. Hilo de urdimbre	14
Figura 5. Visón macroscópico del algodón. Hilo de trama	14
Figura 6. Características del tejido de algodón en su vista el microscopio	15
Figura 7. Colocación de la pieza para proceder a su radiografía (Cedida por el Laboratorio de rayosX.IRP)	18
Figura 8. Radiografía obtenida del cuerpo del traje. (Cedida por el Laboratorio de rayosX.IRP)	19
Figura 9. Probeta con tejido de lino	19
Figura 10. Probeta con tejido de algodón	19
Figura 11. Croquis del tamaño final de las probetas	20
Figura.12. Colocación de la probeta en el digitalizador para realizar la radiografía.....	21
Figura13. Procesado de la radiografía mediante CR 30-X	21
Figura 14. Radiografía del lino	21
Figura 15. Radiografía del algodón	21
Figura 16. Imagen escala de grises a 8 bytes.....	24
Figura 17. Gráfico obtenido tras el tratamiento de la imagen mediante <i>Matlab</i>	24
Figura 18. Gráfico obtenido tras el tratamiento de la imagen mediante <i>Matlab</i>	24
Figura 19. Carta de pruebas de Lainsa (Cedida por el Laboratorio de rayosX. IRP).....	25
Figura 20. Radiografía de la prueba de calidad de la imagen (Cedida por el Laboratorio de rayosX.IRP)	25
Figura 21. Recorte de la escala densitométrica radiografiada en las pruebas....	25
Figura 22. Resultado obtenido en <i>Matlab</i> tras procesar la imagen	25
Figura 23. Gráfico obtenido en <i>Matlab</i> tras procesar la imagen.....	25

Figura 24. Resultado del procesado de la imagen del lino en <i>Matlab</i>	26
Figura 25. Resultado del procesado de la imagen del lino en <i>Matlab</i>	26
Figura 26. Imagen del lino posterizada a 16 niveles.....	27
Figura 27. Resultado obtenido tras el procesado de imagen mediante <i>Matlab</i> ..	27
Figura 28. Resultado obtenido tras el procesado de imagen mediante <i>Matlab</i> ..	27
Figura 29. Resultado del procesado de la imagen del algodón en <i>Matlab</i>	28
Figura 30. Procesado de la imagen del algodón en <i>Matlab</i>	28
Figura 31. Imagen del algodón posterizada a 16 niveles.....	29
Figura 32. Resultado obtenido tras el procesado de imagen del algodón mediante <i>Matlab</i>	29
Figura 33. Resultado obtenido tras el procesado de imagen del algodón mediante <i>Matlab</i>	29