

# DESTEÑIDO DE MEZCLILLA POR LASER

S.E. Acosta-Ortiz, T. Dascalu, M. Ortiz-Morales, G.A. Pérez-Herrera e I. Compean-Martínez  
Centro de Investigaciones en Óptica, A.C, Aguascalientes, México

## RESUMEN

Se demuestra que el láser puede remover de manera eficiente el colorante índigo con que se tife la mezclilla. Se presentan los resultados obtenidos al desteñir mezclilla con láser de Nd:YAG (1064 nm y 532 nm) y con láser de CO<sub>2</sub>, determinándose los parámetros óptimos de fluencia y densidad de potencia. Estos parámetros fueron determinados sobre la base del análisis de los espectros de reflectividad durante la irradiación con láser. El coeficiente de reflectividad difusa fue del orden del 17% para la mezclilla irradiada, comparado con 7% de la mezclilla sin irradiar.

## ABSTRACT

It is shown that laser can remove indigo color from textil tissue. Nd: YAG ( 1064 nm and 532 nm ) and also CO<sub>2</sub> laser were employed. Best parameters for the task were determined . For doing so the reflectivity spectral analysis was done. Diffuse reflectivity coefficient was measure from the tissue and compared with non radiated one.

## INTRODUCCION

Como es bien sabido, el gasto de agua anual debido al proceso de desteñido de mezclilla con los métodos actuales, asciende a varios billones de litros de agua. Además, la contaminación por aguas residuales debida a este proceso constituye ya un problema en algunos estados del país, entre ellos los estados de Guanajuato y Aguascalientes; por otra parte el proceso actual reduce la resistencia de la mezclilla en un 50%. Por esta razón es importante buscar alternativas no contaminantes que permitan desteñir la mezclilla sin desgastar significativamente la prenda.

El desteñido de mezclilla por láser ha demostrado ser una alternativa viable para sustituir algunos procesos industriales, que tiene la ventaja de ser no contaminante, utilizar poca agua y no afectar la resistencia de la mezclilla.

El proceso de desteñido de mezclilla con láser se describe a continuación:

El rayo láser se mueve a lo largo de la pieza a ser desteñida por medio de un conjunto de espejos controlados por computadora. La interacción del láser con la mezclilla produce una decoloración en el área del material irradiada. El colorante residual es eliminado de la superficie del material.

El proceso de desteñido con láser tiene tres etapas:

1. Mapeo generado por computadora, del área que será irradiada con diferentes niveles de fluencia, de acuerdo con el patrón deseado.

2. Transmisión de los comandos al sistema láser, al sistema de escaneo y al sistema de movimiento (1).

3. Proceso de desteñido láser.

Nos concentraremos en la última etapa:

La interacción láser-material depende de dos tipos de parámetros: parámetros del rayo láser y parámetros del material. Consideramos como parámetros del rayo láser a la energía por pulso, la frecuencia de repetición, la duración del pulso, la longitud de onda y la densidad de potencia del láser. Como parámetros del material consideramos la difusividad térmica, el coeficiente de reflexión y el calor de vaporización.

Para remover material en materiales no-metálicos, es muy importante la absorción del material a la longitud de onda del láser. Por eso hay que tomar en cuenta el coeficiente de absorción del material a diferentes longitudes de onda, para poder seleccionar adecuadamente el láser a utilizar.

Además, la energía del láser se puede perder por reflexión de la superficie, o en nuestro caso, por transmisión a través de las fibras textiles. Dependiendo de la duración del pulso, la longitud de onda y la densidad de potencia, pueden ocurrir varios fenómenos. La remoción del índigo (colorante utilizado para teñir mezclilla) sin que se afecte la tela, involucra cuatro fenómenos físicos: vaporización, fotoablación, ablación inducida por plasma y ondas de choque (2-5).

<sup>1</sup>E-mail:sacosta@cioags.com.mx

## EXPERIMENTO

Para llevar a cabo los experimentos, se utilizó un láser de Nd:YAG (Spectron SL400 Systems) con una energía por pulso de 40 mJ y frecuencia de repetición de 60Hz. Las longitudes de onda utilizadas fueron 1.064  $\mu\text{m}$  y su segundo armónico a 532 nm. La longitud del pulso láser se midió con un fotiododo Melles Griot (13DAH005) y un osciloscopio (PM3323 Philips Fluke).

También se utilizó un láser de CO<sub>2</sub> con longitud de onda de 10.6  $\mu\text{m}$  y frecuencia de repetición del pulso de 5kHz.

Para lograr un buen posicionamiento del láser, se utilizó una mesa X-Y controlada por computadora. La irradiación con diferentes densidades de potencia se logró utilizando diferentes distancias focales. La variación de la fluencia láser, en el caso del láser de Nd:YAG a 1.064  $\mu\text{m}$  se obtuvo controlando el número de pulsos láser que llegaban a determinada área. La irradiación se hizo utilizando una energía por pulso de hasta 8.5 mJ y una frecuencia de repetición de 60 Hz.

Durante la irradiación con el láser Nd:YAG en su segundo armónico a 532 nm, la fluencia fue controlada por el movimiento del área irradiada. La energía por pulso fue de hasta 2.2 mJ. En el caso de la irradiación con láser de CO<sub>2</sub>, la fluencia se controló por el tiempo de irradiación. Las pruebas se realizaron fuera del plano focal de las 5 lentes con diferentes distancias focales. El tiempo de irradiación para cada pequeña área fue de 8 a 12 mseg y la potencia de salida varió de 5 a 20 W. Para tiempos de irradiación más largos, se observa un quemado muy rápido de la fibra de la tela.

La superficie textil se mantuvo plana y ligeramente estirada durante el proceso. Se utilizaron mezclillas coloreadas en diferentes tonos de azul, de acuerdo a las que se utilizan en la empresa. Se realizaron pruebas sobre tela con engomado y sin él (el engomado consiste en aplicar una sustancia de goma a la tela con el fin de que sea más fácil su confección).

Después de la irradiación, la tela se enjuagó con agua sin detergentes y se secó normalmente. Los cambios de reflectancia fueron medidos utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer (Lamba 12) con una precisión de 0.1 nm.

## RESULTADOS

Para poder determinar el espectro de absorción del colorante índigo, se examinó con el espectrofotómetro una solución acuosa de índigo con una concentración de 0.001 gr/mol. El espectro de absorción se muestra en la Figura 1. Se puede

observar que el coeficiente de absorción a 532 nm es de 37.2 % mientras que a 1.064  $\mu\text{m}$  es de 4.6 %. Por esta razón la interacción láser-mezcilla es más efectiva a 532 nm.

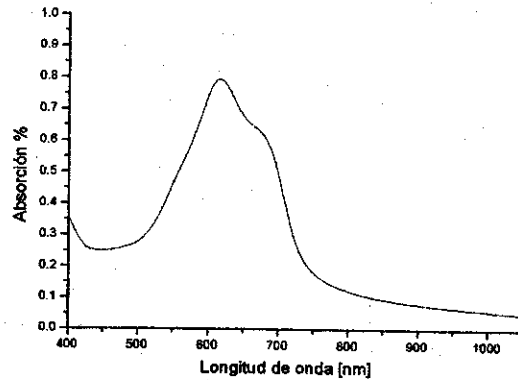


Figura 1. Coeficiente de absorción del índigo.

Se calcularon la fluencia total del láser,  $F$  y la densidad de potencia,  $D$ , para cada caso, utilizando la divergencia del láser, el diámetro del haz láser, la energía por pulso y la longitud del pulso.

En el caso de la irradiación con láser de Nd:YAG, hubo un cambio notable en la reflectividad difusa del área de tela irradiada cuando la fluencia y la densidad de potencia pasaron un nivel de umbral. Los fenómenos de interacción involucrados fueron fotoablación y generación de ondas de choque. Se observó la pluma del plasma y un sonido audible cuando el pulso láser interactuaba con la tela. A una longitud de onda de 532 nm, el nivel de umbral para la fluencia fue de 40  $\text{J}/\text{cm}^2$  y para la densidad de potencia fue de 100  $\text{MW}/\text{cm}^2$ .

En la Figura 2 se muestran los espectros de reflectancia difusa para la irradiación con láser de Nd:YAG a 532 nm. Se observa que para diferentes combinaciones de fluencia y densidad de potencia es posible obtener diferentes niveles de destefido.

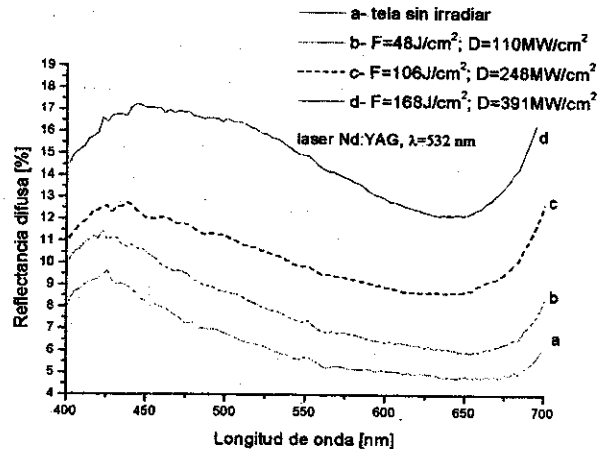


Figura 2. Espectros de reflectancia difusa para el láser de Nd:YAG a 532 nm.

En general un cambio en la densidad de potencia afecta mucho más la reflectividad difusa, que un cambio en la fluencia. Esto se puede explicar por el hecho de que solamente para el primer pulso láser, el coeficiente de absorción tendrá el valor inicial. El pulso láser que sigue al primer pulso encontrará un coeficiente de absorción más bajo. Así, la eficiencia de la interacción depende de la densidad de potencia láser de los primeros pulsos. Un resultado importante es que la forma de la curva para la tela irradiada es similar a la de la tela sin irradiar, lo que demuestra que la tela no es dañada por la irradiación con láser a esta longitud de onda.

En el caso de la irradiación con láser de Nd:YAG a 1064 nm, se observa también que variaciones grandes de fluencia producen solo pequeños cambios en el coeficiente de reflectividad. Sin embargo es necesario llegar a niveles de fluencia y densidad de potencia más altos que en el caso del láser a longitud de onda a 532 nm, para obtener los mismos niveles de desteñido.

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos para la irradiación con láser de CO<sub>2</sub>. El proceso de interacción en este caso es mucho más efectivo y la remoción del índigo se efectúa a través de los procesos de calentamiento y vaporización. Sin embargo, el proceso afecta también la fibra, como se comprueba al observarse en el microscopio y en las curvas de la Figura. Generalmente, después de la irradiación con el láser de Nd:YAG tanto a 532 nm como a 1.064  $\mu\text{m}$ , la reflectividad espectral tiene la misma forma que para la tela sin irradiar. Sin embargo, para el área irradiada con láser de CO<sub>2</sub> el espectro de reflectividad cambia de forma, lo que nos permite suponer que las fibras fueron afectadas.

En la Figura 3, la curva *b* tiene una densidad de potencia más baja ( $D = 408 \text{ W/cm}^2$ ), pero una fluencia mayor ( $F = 4.08 \text{ J/cm}^2$ ) que la curva *c* ( $D = 816 \text{ W/cm}^2$  y  $F = 3.67 \text{ J/cm}^2$ ). Como se puede observar en la figura, la curva *c* tiene un coeficiente de reflectividad difusa mayor que la curva *b*. La observación de que la densidad de potencia es más importante que la fluencia continúa siendo válida en este caso.

La Figura 4 presenta los espectros de reflectividad difusa para las tres diferentes longitudes de onda. Las curvas *c* y *d* fueron obtenidas usando la longitud de onda fundamental y el segundo armónico del láser de Nd:YAG (1.064  $\mu\text{m}$  y 532 nm, respectivamente). La fluencia ( $F = 168 \text{ J/cm}^2$ ) y la densidad de potencia láser ( $D = 391 \text{ MW/cm}^2$ ) de la curva *c* son menores que los valores respectivos para la curva *d* ( $F = 867 \text{ J/cm}^2$  y  $D = 1980 \text{ MW/cm}^2$ ). Sin embargo, el coeficiente de reflectividad difusa es mayor en el caso de la irradiación a 532 nm que a 1.064  $\mu\text{m}$ . Por ello, podemos decir que los parámetros más importantes en el desteñido con

láser son primeramente la longitud de onda del láser y enseguida la densidad de potencia del mismo.

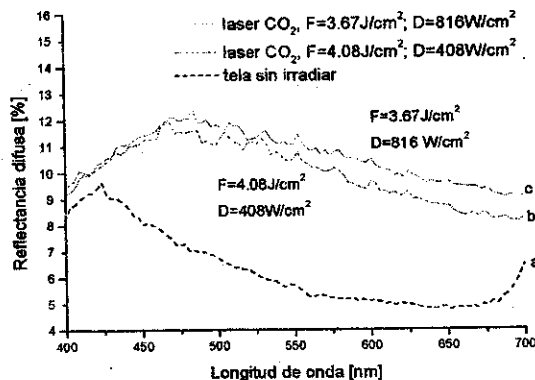


Figura 3. Espectros de reflectancia difusa para el láser de CO<sub>2</sub>.

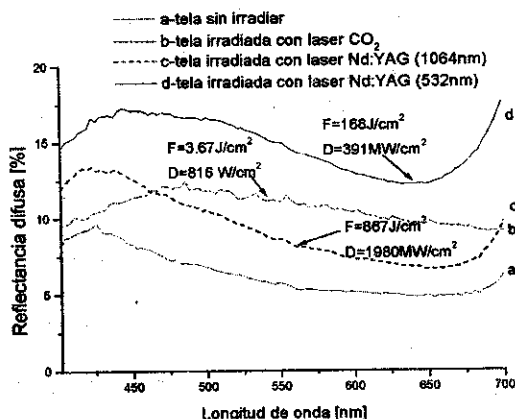


Figura 4. Espectros de reflectancia difusa para tres longitudes de onda diferentes.

## DISCUSIO Y CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados hasta ahora a nivel de laboratorio, nos han permitido determinar que sería necesario utilizar un láser de 5000 W de Nd:YAG, para transferir la técnica a la industria. Con esta potencia se puede desteñir 1 metro cuadrado de tela en 1.5 minutos, lo que representa el doble de tiempo de lo que le toma a la industria desteñir con el método actual, que es de aproximadamente 200 pantalones en 90 minutos, por lavadora.

Por esta razón, se considera que la aplicación más inmediata del desteñido con láser, sería en la sustitución del método de "sandblast" con el cual se destiñen áreas determinadas del pantalón, utilizando en la actualidad un método costoso, peligroso y lento, que consiste en aventar arena a alta presión sobre los pantalones. Igualmente, se pueden diseñar logotipos o patrones de desteñido especiales, con la ventaja de no tener que cambiar el proceso, sino solamente el programa de computadora.

Sin embargo, a pesar de que en las condiciones actuales es más lento el desteñido de mezclilla por láser, es importante tomar en cuenta la ventaja de la disminución con esta técnica, de la cantidad de contaminantes por aguas residuales.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto No. 19980205019, apoyado por el Sistema de Investigación Miguel Hidalgo, CONACYT-MEXICO.

## REFERENCIAS

- STEEN, W. (1998): "Láser Materials Processing", Springer Verlag, London.
- NIEMZ, M.H. (1996): "Láser-Tissue Interactions", Springer Verlag, Berlin.
- GRIGORYANTIS, A. (1994): "Basis of Láser Material Processing", MIR Publishers.
- READY, J.F. (1997): "Industrial Aplications of Láser", Academic Press.
- KOECHNER, W. (1996): "Solid State Láser Engineering", Springer Verlag.