

Desarrollo y aplicación de prototipo para el estudio de acabados en materiales utilizando módulo láser controlado mediante PWM

Rodríguez-Luévanos, Y.L.¹; Castro -Juárez, E. II.²; Machado-Díaz, E.³

Datos de Adscripción:

¹Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Durango, México. C.P. 35150.
eduardo.md@itslerdo.edu.mx

esumen – En este artículo se muestra el desarrollo de un prototipo para el estudio de acabados en materiales aplicando un haz de láser, los acabados analizados fueron grabados en materiales como madera y policloruro de vinilo, mediante los cuales se analizan efectos relacionados con la transferencia de calor. El desarrollo del proyecto incluye cálculo y selección del módulo láser, cálculo de pérdidas por conducción y radiación, analizados de manera manual y mediante software, además de desarrollar una interfaz visual a través de MATLAB, el software NX de SIEMENS permite la creación de materiales en su biblioteca, dichos programas permiten analizar térmicamente y comprar a través de la interfaz visual los resultados obtenidos por el láser y por la simulación.

La movilidad de módulo láser se efectúa mediante un prototipo de brazo robótico con seis grados de libertad. La variación de potencia del módulo láser es controlada por PWM mediante una interfaz visual, la cual simula la transferencia de calor en tiempo real.

Los resultados obtenidos son las comparativas entre las variaciones de potencia, distancia y tiempo en cual se obtiene el equilibrio térmico. Con este proyecto se beneficia al ámbito educativo, impactando principalmente en materias como lo son transferencia de calor, termodinámica y mecánica de fluidos.

Palabras Clave – Conducción, Convección, Radiación, Transferencia de calor.

Abstract - This article shows the development of a prototype for the study of finishes on materials applying a laser beam, the finishes analyzed were engraved on materials such as wood and polyvinyl chloride, through which the effects related to heat transfer will be analyzed. The development of the project includes calculation and laser module, calculation of conduction and radiation losses, analyzed manually and by software, in addition to developing a visual interface through MATLAB, SIEMENS NX software allows the creation of materials in its library These programs allow thermal analysis and comparison through the visual interface of the results obtained by the laser and by the simulation.

The mobility of the laser module is carried out by means of a robotic arm prototype with six degrees of freedom. The power variation of the laser module is controlled by PWM through a visual interface, which simulates heat transfer in real time.

The results obtained are the comparisons between the variations of power, distance and time in which the thermal equilibrium is obtained. This project benefits the educational field, mainly impacting on materials such as heat transfer, thermodynamics and fluid mechanics.

Keywords – Conduction Thermal, Convection Thermal, Radiation, Transfer of heat.

I. INTRODUCCIÓN

Al estudiar el tema de acabados en materiales existe una gran variedad de técnicas según su proceso de fabricación o aplicación, en cuanto a grabado algunas de ellas son corte por chorro de agua, arenado, chorreado con vidrio y corte con láser. Actualmente la obtención de parámetros referentes a acabados de materiales es de suma importancia en diferentes ámbitos como en la industria para poder conocer el comportamiento de propiedades mecánicas y físicas del material. Otro ámbito donde es de suma importancia conocer parámetros referentes a acabados de materiales es el área educativa, enfocado en la obtención de valores relacionados con transferencia de calor, el cual es un contenido temático de asignaturas relacionadas con propiedades físicas y mecánicas de materiales.

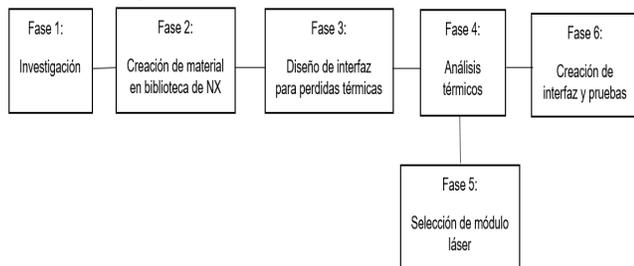
En algunos ámbitos de la industria para poder conocer el comportamiento mecánico y físico del material se realizan pruebas empíricas, viendo afectados tiempos de producción y calidad. Debido a que la mayoría de las propiedades mecánicas y físicas de los materiales suelen mostrar dependencia con la temperatura, el láser permite una interacción focalizada entre el haz de luz, material, medio ambiente obteniendo variaciones en temperatura. El acabado de materiales con láser proporciona una serie de ventajas como mayor versatilidad, precisión y calidad en comparación a otro tipo acabado (D, 2007). El proceso consiste en la focalización del haz láser en un punto del material que se desea tratar, para que éste funda y evapore lográndose así el grabado/corte con una determinada potencia procedente del generador y de un sistema de conducción, un grupo óptico se encarga de focalizar el haz con un diámetro determinado sobre un punto de interés del material a tratar. La gran desventaja que presenta el corte por láser frente a otros procedimientos reside principalmente en el espesor máximo que se puede cortar. (Rodríguez Díaz del castillo, 2011, pp. 11-16)

El prototipo para estudio de acabados de materiales con láser que se presenta en este artículo consta de cálculos para la obtención de parámetros como número de Nusselt, Rayleigh, Grashof y Prandl aplicados en la selección de equipo, programación de interfaz visual, simulaciones térmicas los cuales se relacionan directamente con los materiales analizados

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El desarrollo del proyecto se realizó a partir de las siguientes seis fases las cuales se presentan en la Figura 1.

Figura 1
Desarrollo del proyecto



2.1 Investigación preliminar

La primera fase del proyecto fue una investigación de las diferentes formas de transferencia de calor siendo estas conducción, convección y radiación (Carballo, 2018) y como afecta el medio ambiente en este proceso.

La clasificación de los diferentes tipos de láser los cuales se encuentran documentados en diferentes páginas electrónicas, siendo el diodo láser el más común por la sencillez de manejo y bajo costo. En la bibliografía consultada (L. Bachs, 1988, pp. 60-64) donde se presenta un prototipo que opera a velocidades

altas y potencias bajas, se comentó entonces que el corte y grabado dichos procesos se realizan por medio de la modulación de ancho de pulso, se menciona que es de suma importancia la concentración de energía. El control de potencia con PWM mediante Arduino una plataforma de código libre es ideal para la disminución de costos y modificaciones en código de programación.

Otro Factor importante a considerar es el proporcionar movimiento en dos dimensiones al módulo láser, lo cual se realizará mediante un prototipo de brazo robótico, analizando si el prototipo con seis grados de libertad era capaz de soportar aproximadamente 450 gramos.

2.2 Creación de material en biblioteca de NX de SIEMENS

Algunos materiales no se encontraron establecidos en la biblioteca NX de SIEMENS. Por lo cual fue necesario la creación del material madera, de ello depende la realización de posteriores análisis térmicos. Para ello se realizaron diseños del prototipo y recopilación de propiedades térmica y mecánicas mostradas en Tabla 1.

Tabla 1
Propiedades mecánicas de la madera

Propiedad Mecánica	Valor
Densidad de la masa	513 Kg/m ³
Módulo de elasticidad	10395049000 Pa
Coefficiente de poisson	0.25
Limite elástico	13729310Pa
Tensión a la rotura	40MPa
Conductividad térmica	0.115 Wm/K
Calor específico	1.38 KJ/Kg.K

La caracterización de la madera como material establece clasificaciones (blanda y dura). De ambas maderas fue seleccionada la blanda, debido a su versatilidad y bajo costo. En el entorno de simulaciones térmicas se encuentra un apartado denominado biblioteca MATMI mostrado en la Figura 2, donde se clasifica la madera como un material isotrópico debido a que sus propiedades mecánicas son iguales en todas direcciones. Posteriormente se genera un archivo ubicándose en los archivos con terminación.ptr.

Figura 2
Biblioteca MATMI



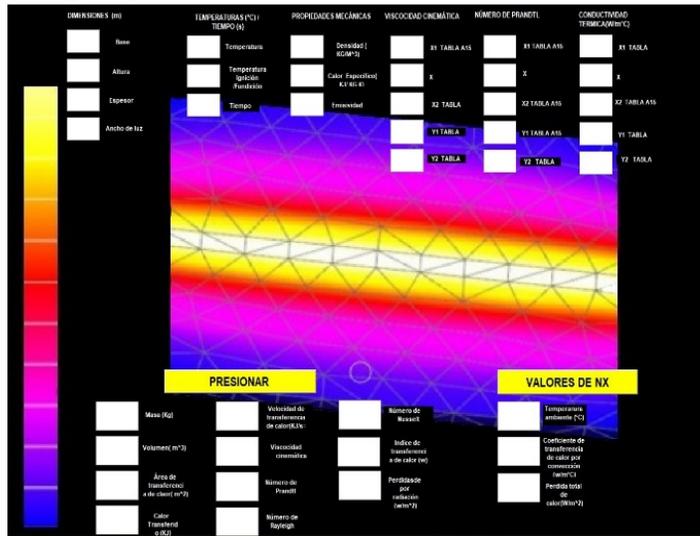
2.3 Diseño de interfaz visual para pedidas térmicas

Guide es un entorno disponible en MATLAB, utilizado para crear interfaces gráficas mediante una interfaz visual, el cual necesita un ingreso continuo de datos (Orlando, 2023, p. 2). Con la finalidad de obtener diversos parámetros se optó por la creación de una interfaz visual. Siendo capaz proporcionar parámetros numéricos obtenidos mediante operaciones matemáticas y utilizados en simulaciones térmicas. Es necesario mencionar que al modificar alguna dimensión de la placa, los valores cambiarían por completo. Por tal motivo el procedimiento fue estandarizado, permitiendo introducir valores del material a analizar.

La interfaz visual mostrada en la Figura 3 se divide en dos apartados, programación y diseño visual, los cuales se comunican mediante controlador denominado callback, el cual direcciona la programación expresada en código y generada automáticamente. Al seleccionar los controladores se formulan las operaciones referentes a pérdidas (flujo de calor y coeficiente de transferencia de calor por convección) siendo necesario ingresar las relaciones geométricas enfocadas a la superficie del material, posteriormente se ingresan las propiedades mecánicas siendo algunas de ellas densidad y calor específico.

La obtención de datos se realiza dando clic en el rectángulo amarillo denominado PRESIONAR, el cual proporciona como resultado los valores a introducir en el software NX de SIEMENS, utilizados posteriormente en simulaciones térmicas. La finalidad de las simulaciones térmicas es visualizar el como se propaga el calor en la placa del material.

Figura 3
Interfaz visual



2.4 Análisis térmico

Algunos diseños en ingeniería cuentan con condiciones geométricas o comportamientos térmicos poco usuales. Debido a ello se deben de establecer diferentes métodos para la resolución de simulaciones térmicas con la finalidad de determinar parámetros y propiedades térmicas, algunas de ellas son difusividad y equilibrio térmico, siendo uno de los resultados a obtener. Uno de los métodos más utilizados es elemento finito aplicado en análisis térmicos, estructurales y de viento (NX soluciones CAD, s.f.).

El análisis térmico es un conjunto de técnicas analíticas que estudian el comportamiento térmico de los materiales. Cuando un material se calienta o se enfría su estructura o composición química puede sufrir cambios (Serrano Hernandez A, 2018).

La simulación térmica inicia con la elaboración de pieza considerando las dimensiones Tabla 2, trayectoria que seguirá el módulo láser y área del haz de luz cuando entra en contacto con el material. La pieza es segmentada en tres secciones idealizando la geometría con la finalidad de la correcta distribución de las cargas térmicas obtenidas mediante la interfaz visual para perdidas térmicas y simulación de transferencia de calor en estado transitorio proporcionada por el haz de luz láser y distribución del calor en placa.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

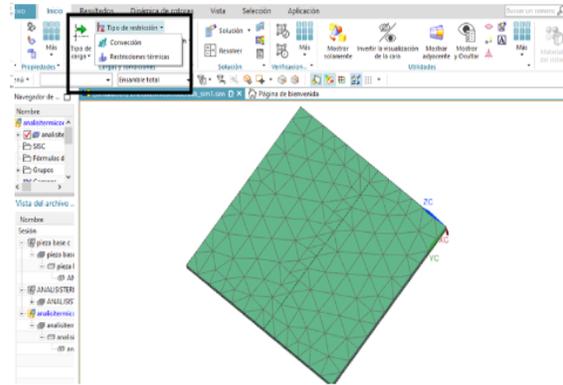
Tabla 2
Dimensiones de piezas a analizar

Dimensión	Medida
Largo	100 mm
Ancho	100 mm
Espesor	5 mm

El procesamiento de la simulación se realiza en los entornos FEM Y SIM del software NX de SIMENS. El entorno FEM secciona la pieza en múltiples segmentos según la geometría del material y su optimización asignando el tamaño de malla, siendo

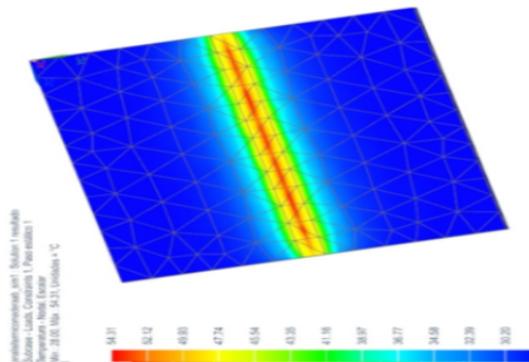
este el inicio del método del elemento finito. Se debe mencionar que existe una relación entre el mallado y la exactitud del resultado, en la Figura 4 se muestra la pieza con asignación de mallado en entorno FEM.

Figura 4
Mallado de pieza.



Las restricciones correspondientes a las cargas térmicas son consideradas en el entorno SIM, dando como resultado la variación de transferencia de calor en pieza según Figura 5. Se puede observar como el calor afecta a la placa y cuál es la temperatura máxima que se puede alcanzar antes de la ignición del material. El análisis se realiza con cada uno de los materiales a analizar. La finalidad de los análisis térmicos es contar con un parámetro referente a la máxima y mínima temperatura que puede soportar los materiales analizados, con ello tener una idea de el margen de potencia del módulo láser a utilizar.

Figura 5
Transferencia de calor en placa.



2.5 Selección del módulo láser

La selección del módulo láser se realizó considerando perdidas de convección y radiación, con la finalidad de comprender mejor el procedimiento se segmentan las perdidas térmicas, al efectuarse la transferencia de calor entre el material analizado y medio ambiente. La selección del módulo láser considero geometría de placa, propiedades mecánicas y térmicas del material mostrando en esta ocasión los datos de la madera debido a que tiene un mayo parámetro de ignición. La Tabla 3 muestra los valores a considerar para la obtención de flujo de calor en estado transitorio.

Tabla 3

Datos para la obtención del flujo de calor.

Datos	Valor
Temperatura ambiente	28°C
Densidad de la madera	513 Kg/m ³
Calor específico	1.38 KJ /Kg .K
Temperatura de ignición de la madera blanda	70°C
Largo de la placa de madera	100mm
Ancho de la placa de madera	100mm
Espesor de la placa de madera	5mm
Volumen placa de madera	0.00005m ³
Ancho del spot donde se aplica el haz de láser	6mm
Largo del área donde se aplica el spot	10cm
Área placa de madera	0.01m ²

Al transferir energía desde una masa o hacia ésta mediante mecanismos como el calor, fue necesario conocer la cantidad de calor transferido durante el proceso como se indica en (1).

$$Q = m \cdot C_p (T_2 - T_1) = \quad (1)$$

$$(1.539 \times 10^{-4} \text{Kg}) \left(1.38 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \cdot \text{K} \right) (70^\circ\text{C} - 28^\circ\text{C}) = 8.920044 \times 10^{-3} \text{KJ}$$

En cuanto a la obtención de la masa como cantidad de materia de un cuerpo se calcula de la siguiente manera (2).

$$m = \rho \cdot V = (513 \text{ Kg} / (\text{m}^3)) (0.000007 \text{m}^3) = 1.539 \times 10^{-4} \text{ kg} \quad (2)$$

El calor transferido se interpreta como la energía que necesito transferir al sistema para de 28°C aumentar a 70°C. La velocidad de transferencia de calor también conocida como razón de transferencia de calor involucra la derivada de calor transferido por unidad de tiempo, por lo cual se denomina índice de transferencia de calor (3).

$$Q_{\text{prom}} = Q/\Delta t = (8.920044 \times 10^{-3} \text{KJ})/10\text{s} = 8.92 \text{ W} \quad (3)$$

Cuando se cuenta con un área de transferencia de calor y la velocidad de transferencia de calor, se podrá conocer el flujo de calor siendo la cantidad de calor transferido por unidad de área y unidad de tiempo (4).

$$q = (Q/A) = 8.92 \text{W} / (6 \times 10^{-4} \text{ m}^2) (0.1) = 148.66 \text{W} / \text{m}^2 \quad (4)$$

El mecanismo de convección natural sobre una superficie depende de la orientación geométrica y variación de temperatura. Si se desea expresar la transferencia de calor en convección natural, es necesario la obtención del número de Rayleigh (5) es el producto de los números de Grashof y Prandlt, estableciendo la configuración geométrica del área superficial.

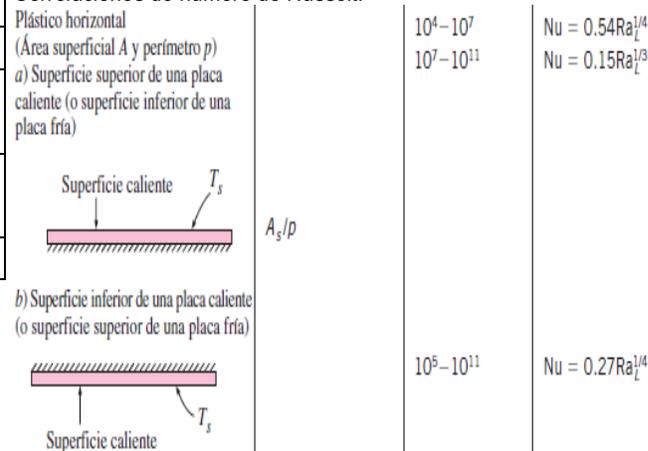
$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} = \quad (5)$$

$$\frac{(9.81 \text{m/s}^2)(1/322 \text{K})(70 - 28 \text{K})(0.025)^3}{(1.7884 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})^2} (0.72306) = 5.8591 \times 10^4$$

Considerando las correlaciones empíricas para el numero de Nusselt en convección natural, verificar el intervalo correspondiente a número de Rayleigh. El número de Nusselt es la división del flujo de calor por convección sobre el flujo de calor por conducción Figura 6 .

Figura 6

Correlaciones de número de Nusselt.



Fue necesario obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección. Siendo la transferencia de convección proporcional a la diferencia de temperatura. Lo antes mencionado se puede expresar por la ley del enfriamiento de Newton (6).

$$h = \frac{k}{L_c} Nu = \frac{0.027278 \text{W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}}{0.025 \text{m}} (8.401428) = 9.1669 \text{W} / \text{m} \cdot ^\circ \quad (6)$$

Considerando la temperatura inicial de 28 °C y final de 270 °C para obtener el coeficiente de expansión (7). Siendo la viscosidad cinemática del fluido y el número de Prandlt se consideró los valores en el intervalo de 45 y 50 °C, mediante la fórmula de interpolación lineal. La fórmula de interpolación lineal puede ser aplicada cuando se cuenta con un valor a conocer y dos valores conocidos (8).

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{49} = 0.020 \quad (7)$$

$$Y = Y_1 + \frac{X-X_1}{X_2-X_1}(Y_2-Y_1) = 2.745 \times 10^{-5} + \frac{49-45}{50-45}(0.7228 - 0.7241) = 0.72306 \quad (8)$$

Al compensar pérdidas ocasionadas por el medio ambiente, fue considerada la razón de transferencia de calor promedio. La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor, la radiación térmica, es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. La obtención de la transferencia de calor por radiación (9), utilizando la constante de Stefan-Boltzmann $5.67 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

$$\dot{Q}_{\text{radiación}} = \epsilon * \sigma * A_s * T_s^4 = (0.92) \left(\frac{5.67 \times 10^8 \text{ W}}{\text{m}^2} \right) (6 \times 10^{-4} \text{ m}^2) (343^4 - 301^4) = 7.3223 \times 10^{-4} \text{ W} \quad (9)$$

La radiación depende de la emisividad térmica, mostrando algunos valores de emisividad en la Tabla 4.

Tabla 4
Emisividad de materiales a 300K.

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Alumino anonizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.9
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel ahumada	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.96
Agua	0.96

2.6 Simulación de temperaturas en tiempo real

Una parte importante en la interfaz visual es la simulación de temperaturas en tiempo real la cual no es posible sin considerar la conducción de calor en régimen transitorio contando con dos métodos de análisis implícito y explícito, en cualquiera de ellos la pieza se segmenta en partes llamadas nodos entre más nodos existan más exacto es el valor obtenido según la variación del

tiempo, la diferencia radica en los intervalos de tiempo mientras al método implícito se asigna $i + 1$, el explícito solamente consideramos i siendo la literal mencionada un contador para los intervalos de tiempo en régimen transitorio.

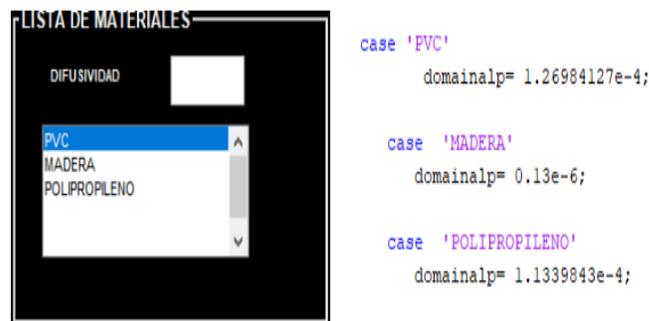
La conducción de calor se encuentra caracterizada mediante el número de Fourier (Fo), implicando la velocidad de conducción y el almacenamiento de energía el cual debe cumplir con el criterio de estabilidad, de lo contrario no es válido este tipo de análisis $Fo \leq 0.5$ (A.Cengel, 2007, p. 316).

El procedimiento para simular transferencias de calor suele ser repetitivo, sin embargo, se debe mencionar la variación de temperaturas obtenidas y difusividad (10) que implica propiedades físicas del material, entre ellas se encuentran densidad, calor específico y conductividad térmicas las cuales fueron consideradas según la aplicación de código Math Works (Cheng, 2022).

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp} \quad (10)$$

En transferencia de calor mediante régimen transitorio se consideró el tiempo proporcionado por el recorrido total del módulo laser sobre la geometría asignada a la placa, siendo 6 segundos, los datos anteriores se consideran en la elaboración de la interfaz visual como se muestra en la Figura 7.

Figura 7
Conductividad térmica implementada en código



La potencia del módulo láser se es controlada por PWM por sus siglas en inglés, Pulse Width Modulation este tipo de método se utiliza para transmitir señales de información en forma de pulsos utilizando esta para reducir la energía total entregada a una carga (Chavez Talavera Ricardo Emanuel, 2015).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos implican análisis térmicos mediante el método de elemento finito, siendo un proceso que implica variación de potencia en materiales a analizar. La herramienta principal utilizada fue un módulo láser con potencia de 5.5 W.

Los resultados obtenidos mediante análisis térmico correspondiente a madera blanda, con temperaturas en el rango 28°C y 53°C. En los análisis térmicos mediante NX de SIEMENS, no superando a la temperatura de ignición, ya que los análisis

térmicos se realizaron con una potencia correspondiente a la de 1W. La transferencia de calor mediante régimen transitorio, corresponde a la simulación del calor con diferentes potencias y alturas como se muestra Tabla 5.

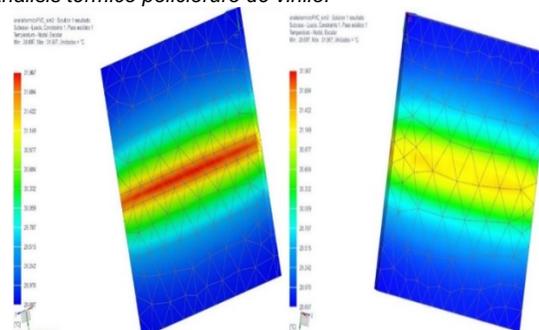
temperatura de ignición en 415°C, ya que los análisis térmicos se realizaron con una potencia correspondiente a la de 1W.

Tabla 5
Pruebas madera a 5mm de espesor.

Potencia	Grados/cm	Temperatura inicial	Tiempo	Observaciones
10%-0.55	130°-6	29	5	No presenta daño visible en el material, al avanzar el módulo láser existe rápidamente un equilibrio térmico.
	135°- 4	33	5	No presenta daño visible en el material, al avanzar el módulo láser existe rápidamente un equilibrio térmico.
50%-2.75	130°-6	30	5	Presenta perforaciones. Tarda 15 segundos en llegar al equilibrio térmico.
	135°- 4	30	5	Tarda 25 segundos en llegar al equilibrio térmico.
90%-4.95	130°-6	36	5	Presento perforaciones. Tarda 30 segundos en llegar al equilibrio térmico.
	135°- 4	33	5	No presenta daño visible en el material, al avanzar el módulo láser existe rápidamente un equilibrio térmico.

El segundo material a analizar fue policloruro de vinilo (PVC), mediante la interfaz visual se obtuvieron los valores solicitados en simulaciones térmicas, como referencia la temperatura de ignición del policloruro de vinilo es de 415°C. muestra los resultados obtenidos para el análisis térmico en NX de SIEMENS. Los resultados obtenidos mediante análisis térmicos vista frontal y posterior con temperaturas en el rango 31.97°C y 28.69°C, corresponde a policloruro de vinilo (PVC) Figura 8. Por lo cual, los valores obtenidos en las simulaciones no superan la

Figura 8
Análisis térmico policloruro de vinilo.



IV. CONCLUSIONES

Los acabados de materiales cada día son más comunes en industria metal mecánica, maderera y textil. Es necesario el mejorar las herramientas para incrementar el número de producción sin desperdiciar material y eficientar costos.

En el presente proyecto se analizó de manera manual y mediante software, como actúa el material aplicando una fuente de calor. Por lo cual en un inicio el proyecto se encontraba enfocado solamente en el sector industrial. Sin embargo, es un campo de posibilidades para el sector educativo especialmente en aquellas materias relacionadas con termodinámica, transferencia de calor y mecánica de fluidos.

La interfaz gráfica proporciona parámetros numéricos obtenidos mediante operaciones matemáticas para posteriormente utilizarlos en simulaciones térmicas, con la finalidad de poder predecir de una manera idealizada el comportamiento del material. El proceso para la obtención puede ser replicado siempre y cuando coincida la misma forma de transferencia de calor y realizando las adecuaciones según la geometría de la pieza a analizar.

Los análisis térmicos fueron muy cercanos a los obtenidos en temperaturas mediante la cámara termográfica. Al mencionar son muy cercanos debemos de tener en cuenta que el módulo láser no se utilizó con su potencia máxima por el sobrecalentamiento.

La detección de áreas de oportunidad fue posible gracias a la creación de materiales no existentes dentro de la librería del software NX de SIEMENS. En conclusión, este proyecto puede implementarse en el sector educativo e industrial. En el sector educativo permite fortalecer las áreas de programación, transferencia de calor, termodinámica y diseño. Mientras que en el sector industrial puede reducir costos y eficiente los parámetros en cuanto al grabado de materiales, siendo un método aplicable al análisis de otros materiales por transferencia de calor en régimen transitorio.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

También a las divisiones de Sistemas Automotrices y Posgrado por el apoyo brindado a la realización del proyecto y conclusión del grado de maestría, así como todos los docentes involucrados. Muchas gracias por su cooperación y participación con sus propuestas de mejora.

VI. REFERENCIAS

- A.Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. México, D.F.: McGraw-Hill.
- Carballo, C. A. (2018). *Transferencia de calor repositorio TEC*. Retrieved Julio de 2023, from Transferencia de calor repositorio TEC:
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10176/Transferencia%20de%20calor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chavez Talavera Ricardo Emanuel, C. U. (Julio de 2015).
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/18755/1/Protocolo%20cortador%20y%20grabador%20I%C3%A1ser.pdf>
- Cheng, Y. (27 de Enero de 2022). *Math Works*. Math Works: Ye Cheng (2022). Conducción de
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/40768-transient-heat-conduction>
- D, O. P. (11 de Enero de 2007).
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3903/55856-6.pdf>
- L. Bachs, J. C. (1988). *Aplicaciones industriales del láser* (Vol. 19). Marcombo. Retrieved 05 de Noviembre de 2018.
- NX soluciones CAD, C. (s.f.). <https://www.3dcadportal.com.mx/nx.html>
- Orlando, B. G. (16 de Julio de 2023). *UTM*. Retrieved 07 de 04 de 2022, from utm:
https://www.utm.mx/~vero0304/HCPM/MATLAB_GUIDE.pdf
- Rodriguez Diaz del castillo, F. (2011). Proceso de maquinado sin arranque de viruta.
- Serrano Hernandez A, R. L. (2018). Análisis térmico por el método del elemento finito para determinar las temperaturas internas de las capas aislantes en el enclousurer de una turbina de gas. *Revista ciencia ,Ingenieria y desarrollo tec lerdo*, 243. Retrieved 10 de octubre de 2018.