



“SIMULACIÓN Y ESCALAMIENTO INDUSTRIAL DE SECADOR INFRARROJO DE ACABADO DEL CUERO”

Ing. Fernando Bravo, Dr. Sergio Alonso, M.C. José Eduardo Frías, Dr. Roberto Zitzumbo Guzmán

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), León, Gto.,
fbravo.picyt@ciatec.mx, salonso@ciatec.mx , jfrías@ciatec.mx

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es desarrollar un modelo virtual escalado de una máquina que realiza el proceso de secado del acabado del cuero. El túnel de secado emplea paneles infrarrojos con los que evapora el agua contenida en el sustrato de acabado, por lo que se emplea un modelo en 3D de los paneles infrarrojos y se analiza en el software ANSYS CFX para conocer las temperaturas durante el proceso y la cantidad de agua evaporada en acabado del cuero. El método empleado es volumen finito, y los resultados se validan con la comparación de los perfiles térmicos experimentales. El mejor modelo escalado se determina con un diseño experimental virtual.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversas formas de realizar el secado del acabado del cuero, unas con gas basadas en convección forzada con aire caliente, y otras con la radiación del sol como el secado al aire. Una de las más eficientes en tiempo y costo de operación es el uso de secadores por infrarrojo a gas (REF). La tecnología infrarroja en el secado muestra ahorros comparado con otras tecnologías como convección forzada. La investigación previa se hizo en un equipo diseñado a tamaño planta piloto, que ciertamente puede utilizarse para escalar; sin embargo, en este proyecto se plantea el uso de herramientas numéricas para reproducir el funcionamiento del equipo piloto para luego ser usado en el escalamiento del prototipo actual asegurando el mejor funcionamiento posible en las condiciones evaluadas experimentalmente. Los perfiles de temperatura obtenidos experimentalmente serán la base del desarrollo del modelo numérico que pueda dar lugar a un equipo de secado optimizado y a una escala adecuada para la industria.

2. TEORÍA

2.1 El acabado del cuero

El acabado del cuero es un proceso que se realiza al cuero después de la tintura, el engrase y secado. El objetivo fundamental del acabado es mejorar las propiedades físicas y estéticas del material curtido. Como por ejemplo, incrementar la protección frente a la humedad, la suciedad, también el aspecto del cuero cubriendo defectos naturales o producidos en las operaciones previas del proceso de fabricación, y aumentar las resistencias de solidez en pruebas físicas, como lo son la resistencia a la luz del sol, resistencia al mojar el artículo, resistencia al rasgado, adherencia, flexión, entre otras que se exigen para cada artículo.

2.2 Secadores por radiación infrarroja

Lámparas infrarrojo. El secador puede funcionar con lámparas, mediante electricidad, proporcionando calor seco o con placas, mediante gas propano o butano proporcionando calor



húmedo. La principal aplicación está en el secado que sigue a las capas de acabado. Se instala fundamentalmente en los túneles de secado de máquinas de acabado y se logra mediante lámparas de infrarrojo, tienen ventaja ya que son eficientes en tiempo y consumo de energía, también son de fácil mantenimiento, al ser radiación su método de secado no requieren ventiladores ni ningún medio para realizar la transferencia de calor.

Como ya se mencionó la máquina de secado que se simula más adelante usa la tecnología infrarroja, esta máquina fue diseñada por el Dr. Sergio Alonso y analizada en un diseño de experimentos por Sánchez et al., (2007).

2.3 Modos de transferencia de calor

Los libros de transferencia de calor y termodinámica mencionan que existen tres tipos de transferencia de calor: Conducción, Convección y Radiación. Radiación es el que nos ocupa en esta investigación.

2.3.1 Radiación

Todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas, lo cual hace posible la transferencia sin necesidad de un medio físico como ocurre en la conducción y la convección. Recordemos que el presente trabajo se enfoca en la tercera forma de calor que es la radiación, por lo que es necesario distinguir los tipos de radiaciones existentes.

2.3.2 Ley de Stefan-Boltzmann

Establece que un cuerpo negro emite radiación térmica con una potencia emisiva hemisférica total (W/m^2) proporcional a la cuarta potencia de su temperatura:

$$E\alpha = \sigma T_e^4 \beta \quad (1)$$

Donde:

T_e = Temperatura efectiva

σ = Constante de Stefan Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ ó $1.712 \times 10^{-9} \frac{BTU}{ft^2 R^4}$

ϵ = es la emisividad de la superficie y su valor está dentro del intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$.

α = coeficiente de absorción del material y su valor está dentro del intervalo $0 \leq \alpha \leq 1$.

2.4 Método de volumen finito

La idea general del método numérico de los volúmenes finitos es la división de un volumen continuo en un conjunto de pequeños volúmenes interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no. En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor.
- Incógnitas. Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas.



En primer lugar, y para poder generar la malla de volúmenes finitos se ha de crear un modelo geométrico del dominio, en el que se utiliza algún programa especializado. El siguiente paso en el método de volumen finito es la generación de la malla de volúmenes finitos, en el programa seleccionado, que se empleará en la discretización espacial del problema. Se insertan las condiciones de frontera en el pre procesamiento y se resuelve el problema en el procesamiento, finalmente se analizan los resultados en el post procesamiento.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Metodología empleada

La metodología empleada es la misma que se utiliza para los diversos modelos de simulación en otras áreas. Primero se creó un modelo representativo en 3D del panel infrarrojo y la superficie del cuero a secar, el cual fue discretizado para hacer uso del método de volumen finito. Al modelo se le introdujeron las condiciones de frontera del experimento, el cual consistió en dejar una hoja de aluminio representando la superficie del cuero debajo del panel a su temperatura de -820°C . El punto de este primer experimento es encontrar la temperatura en estado estacionario tanto teórico, simulado y experimental; posteriormente se obtuvieron resultados, los cuales se deben validar por medio de comparación.

3.2 Descripción del modelo tridimensional del secador

En esta parte se describe el modelo virtual copia del actual prototipo del secador. Con el fin de facilitar el modelo y su posterior simulación se eliminaron varias piezas no fundamentales para la simulación como las ventanas, motor, tornillos, rodillos, etc. Ya que estos elementos no intervienen en el secado o su efecto es despreciable y solo complicarían el modelo. En la figura Figura 3. 1 se muestra el modelo simplificado del túnel de secado.

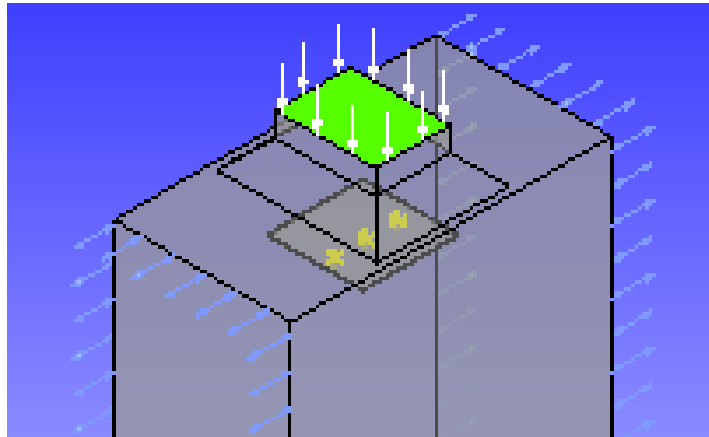


Figura 3. 1: modelo 3D de panel de secado simplificado
(Fecha de elaboración: 16/07/2014).



En la figura 3.2a se muestra el modelo geométrico 3D mallado y en la figura 3.2b se muestra el post procesamiento con los resultados en estado estacionario.

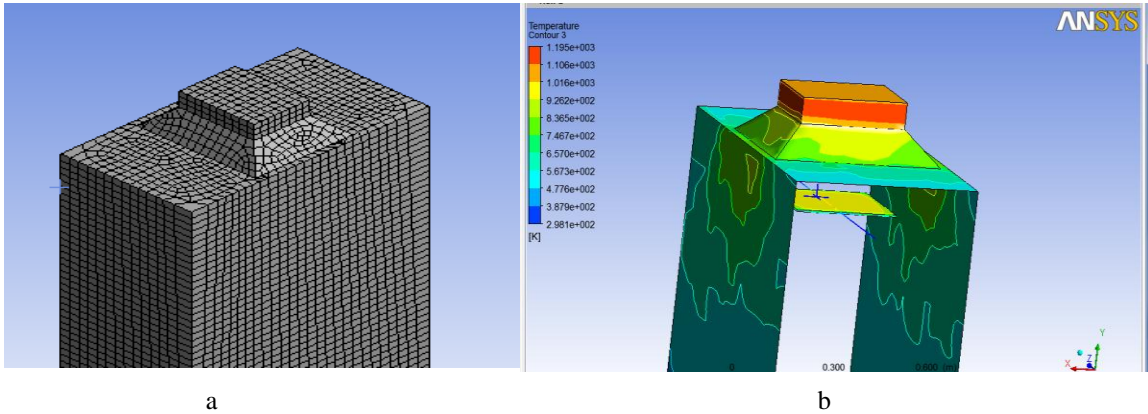


Figura 3. 2: Modelo panel infrarrojo mallado y post procesado (Fecha de elaboración: 16/02/2015)

En la figura 3.3 se muestra el perfil de temperatura estacionario de la superficie del cuero, la temperatura que alcanza es de $\sim 1000^{\circ}\text{K}$ (727°C).

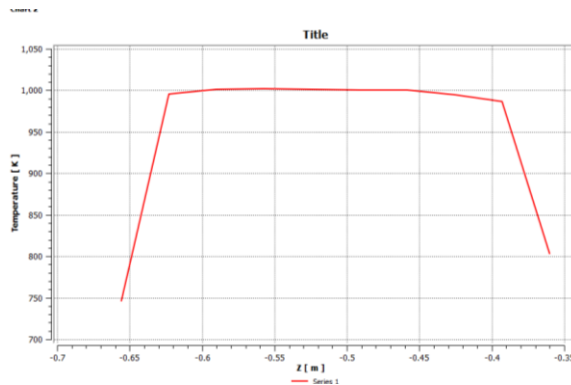


Figura 3. 3: Resultados simulación modelo estacionario de temperatura superficial (Fecha de elaboración: 16/02/2015)



3.3 Resultado teórico

El cálculo de temperatura superficial estacionario fue realizado utilizando la ecuación 1, los resultados e muestran a continuación.

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{(26000)(0.05)}{(1.712 \times 10^{-9})(0.07)}} = 1014^{\circ}R \sim 735^{\circ}C$$

3.3 Resultado experimental

En la figura 3.4a se muestra la temperatura en estado estacionario registrada por un termómetro de laser infrarrojo en experimento real y en la figura 3.4b una imagen térmica de la hoja de aluminio del mismo experimento.



Figura 3. 4: Resultados experimentales estado estacionario de temperatura superficial (Fecha de elaboración: 20/02/2015)

4. CONCLUSIONES

Los resultados a la fecha son satisfactorios, como se pueden observar los resultados en el modelo estacionario tanto teórico, simulado y experimental dan resultados muy cercanos. Lo cual nos brinda la confianza de realizar un modelo transitorio y escalado en los que se puedan confiar en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cengel and Yunus A., Heat Transfer: A Practical Approach. 2nd edition, Chap. 1, 11 and 12, mcgraw-Hill, New York, (2003).
2. Kelton, W.D., Law A.M., (1991). Simulation Modeling & Analysis. Second Edition. Mcgraw-Hill, New York.
3. Sánchez, A, J.; Alonso, S.; Zitzumbo Guzmán R.; Ornelas Rodríguez F.J. (2006) CIATEC A.C., Omega 201, fraccionamiento industrial Delta, C. P. (37545), León Gto. México. INFRARED DRYING : A LEATHER FINISHING APPLICATION



4. Sánchez, A, J.; Alonso, s.; Zitzumbo guzmán r.; Ornelas rodríguez f.j. (2007) CIATEC a.c., omega 201, fraccionamiento industrial delta, c. P. (37545), león Gto. México. IMPROVEMENTS FOR INFRARED DRYING : A LEATHER FINISHING APPLICATION
5. Anderson, D., Warkentin, a., & Bauer, R. (2008). Experimental validation of numerical thermal models for dry grinding. Journal of Materials Processing Technology, 204(1-3), 269–278. Doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.11.080
6. Salazar, Juan Carlos, Baena Zapata, Armando (2009). Análisis y diseño de experimentos aplicados a estudios de simulación, issn 0012-7353
7. Otros.