

ANÁLISIS TÉRMICO DE UN CALENTADOR ÓHMICO APLICADO A PULPA DE MANGO MEDIANTE CFD EN ANSYS APDL

Jesús Alfredo Gómez Náfate

Instituto Tecnológico de Celaya
alfre_gn@hotmail.com

Luis Alejandro Alcaraz Caracheo

Instituto Tecnológico de Celaya
alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Mario Calderón Ramírez

Instituto Tecnológico de Celaya
mario.calderon@itcelaya.edu.mx

José Martín Medina Flores

Instituto Tecnológico de Celaya
martin.medina@itcelaya.edu.mx

Raúl Lesso Arroyo

Instituto Tecnológico de Celaya
raul.lesso@itcelaya.edu.mx

Resumen

El proceso de calentamiento óhmico para la pasteurización de alimentos presenta muchas ventajas sobre otros procesos, dichas ventajas han permitido que la tendencia de las empresas que se dedican a la industria alimentaria sea incorporar nuevos equipos que funcionan con este método.

En el presente trabajo se realizó el análisis térmico de un calentador óhmico utilizado por la industria para la pasteurización de pulpa de mango, dicho análisis se generó

mediante dinámica de fluidos computacional (CFD). Para dicho análisis se usó el software ANSYS APDL 14.5, donde se pudo notar la variación de temperaturas a lo largo de todo el sistema por donde se transporta la pulpa de mango. Se observó el incremento de 55°C a 84°C de dicha pulpa y se comparó con las mediciones realizadas al sistema físico.

Palabra(s) Clave(s): ANSYS APDL, calentamiento óhmico, CFD, pulpa de mango.

Abstract

The ohmic heating process for pasteurizing food has many advantages over other processes, such advantages have allowed the trend of companies engaged in the food industry is adding new teams that work with this method.

In this paper the thermal analysis of an ohmic heater used by industry for pasteurization of mango pulp, such analysis was generated by computational fluid dynamics (CFD) was performed. For this analysis the software ANSYS APDL 14.5, where it was noted temperature variation along the entire system where the mango pulp is transported used. Increasing 55 ° C to 84 ° C was observed said pulp and compared to the measurements made to the physical system.

Keywords: ANSYS APDL, CFD, mango pulp, Ohmic heating.

1. Introducción

En 1827, Georg ohm publicó su tratado donde el describía lo que el día de hoy se conoce como la ley de ohm, posteriormente en 1841, James Prescott Joule mostraría que la electricidad fluyendo a través de un conductor resultaría en una generación de calor (Ramaswamy et al, 2014). Estas investigaciones sentaron las bases para lo que ahora se conoce como “calentamiento óhmico”, el cual consiste en suministrar una corriente eléctrica a través de un alimento.

Cuando la corriente eléctrica fluye a través de un conductor (alimento), el movimiento de las cargas ganadas por el material resulta en la agitación de las moléculas, las proteínas del alimento sirven como conductor por el cual se mueve la corriente de un electrodo hacia el electrodo de polaridad opuesta.

Se realizó el análisis mediante CFD, utilizando la herramienta ANSYS 14.5, para identificar la variación de temperaturas dentro de un sistema de calentamiento óhmico en operación con el objetivo de pasteurizar pulpa de mango.

En la figura 1 se puede observar el esquema del sistema óhmico en físico, se aprecian 2 espesores distintos de tubería conectado en serie, el espesor más grueso es de 1.5 cm y es de vidrio, mientras que el espesor delgado es de 0.158 cm y es de acero inoxidable sanitario 316, el diámetro interior es uniforme sobre todo el sistema y es de 6.19 cm.

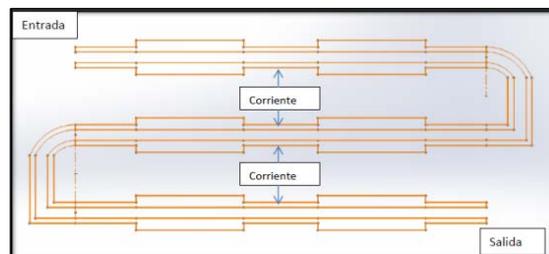


Figura 1 Esquema de sistema óhmico.

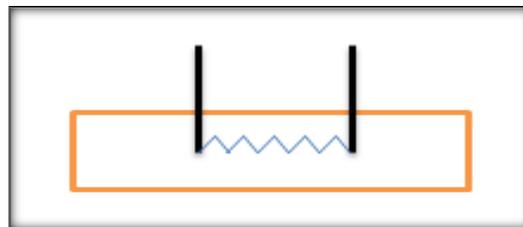


Figura 2 Esquema de la posición de los electrodos en la tubería.

Ventajas

El proceso de calentamiento óhmico presenta una serie de ventajas, lo cual le permite ser un proceso eficiente, tales ventajas son (Ramaswamy et al, 2014):

- Uniformidad en el calentamiento
- Ha diferencia de los métodos convencionales, donde el calentamiento se lleva desde el exterior hacia dentro del sistema, en el calentamiento óhmico este incremento se lleva a cabo desde dentro hacia afuera, proporcionando así un calentamiento uniforme a lo largo de todo el fluido.
- Costo

- El modelo de calentamiento óhmico tenía un costo muy elevado durante su introducción en los años 80 sin embargo con el aumento de la industria manufacturera se han creado nuevos modelos los cuales resultan muy económicos.
- Eficiencia energética
- Los modelos de este tipo de calentamiento presentan eficiencias de hasta el 90%, lo cual es muy bueno en contraste con otros métodos, como el calentamiento por microondas el cual apenas presenta una eficiencia de 50%.

Propiedades de la pulpa de mango

Para poder realizar el análisis de CFD fue necesario buscar las propiedades de la pulpa de mango. Las propiedades consideradas fueron:

- Densidad
- Viscosidad
- Calor específico
- Conductividad térmica
- Conductividad eléctrica

Estas propiedades fueron localizadas en diferentes artículos consultados. Cada una de las propiedades presenta una variación con respecto a la temperatura del fluido. Las tablas 1 y 2 muestran valores encontrados de dichas propiedades variantes con la temperatura.

Tabla 1 Propiedades de la pulpa de mango (J. Bon et al, 2010)

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kg K)	Conductividad térmica (W/m K)
44	1166.5	2.816	0.392
55	1172.1	2.790	0.400
66	1169.5	2.782	0.407
77	1161.7	2.790	0.409
80	1183.0	2.738	0.419

Tabla 1 Propiedades de la pulpa de mango (S.Baslingappa et al, 2013).

Temperatura (°C)	Viscosidad (mPa.s)	Conductividad eléctrica (mS/cm)
20	2518.25	2.48
30	2064.25	2.97
40	1415.00	3.60
50	1516.75	4.37
60	1669.00	5.19

Cálculo de parámetros

Primeramente se realizó el cálculo de las generaciones de calor (\dot{q}) que afectan al sistema, para esta simulación estos valores se tomaron constantes, las generaciones fueron afectadas por las corrientes que se aplican al sistemas las cuales son de 20 A, 14 A y 6 A, así como la conductividad eléctrica (σ) del mango, se resolvieron las ecuaciones 1, 2 y 3 para obtener resultados mostrados en la tabla 3.

$$\rho_e = \frac{1}{\sigma} \quad (1)$$

$$R = \frac{\rho_e l}{A} \quad (2)$$

$$\dot{q} = \frac{I^2}{V} R \quad (3)$$

Dónde ρ_e es la resistividad eléctrica, R es la resistencia eléctrica, A es el área de sección transversal del tubo, V es el volumen del área donde se genera el calor, y l es la longitud donde se genera el calor.

Tabla 3 Calor generado.

Corriente (A)	(W/m ³)
20	101.1 E6
14	49.543 E6
6	9.099 E6

Posteriormente se realizó el cálculo de la velocidad (V) (ecuación 4) con la que el fluido entra al sistema, esto se realizó a partir del flujo volumétrico (\dot{V}), el cual ya se conoce de dato experimental del sistema, dicho valor es de $0.00075 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$V = \frac{\dot{V}}{A} \quad (4)$$

La velocidad obtenida fue de 0.2622 m/s , con esta velocidad se determinó el número de Reynolds (Re) (ecuación 5), el valor obtenido fue de 59.39 , con lo cual se determinó que se trata de un flujo laminar.

$$Re = \frac{\rho V d}{\mu} \quad (5)$$

Donde ρ es la densidad del fluido, y μ es la viscosidad dinámica del fluido.

2. Métodos

Se realizó el análisis de “Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)” empleando el software ANSYS APDL 14.5, el cual permitió obtener el comportamiento térmico de la pulpa de mango al pasar a través de los 3 calentadores óhmicos (Fig. 1 A).

Se siguió una serie de pasos para poder realizar una simulación cuyos resultados serían los más realistas posibles. Dichos pasos son:

- Selección del elemento, modelado, y mallado
- Pre-proceso FLOTRAN
- Condiciones de frontera

Selección del elemento, modelado, y mallado

Para realizar el análisis en ANSYS APDL 14.5, primeramente se definió el tipo de elemento que sería usado, el cual debía tener una serie de características las cuales aseguraría que el análisis deseado sería posible de realizar, posteriormente se realizó el modelado del sistema, para después ser mallado.

El elemento seleccionado es el FLOTRAN 141 (Fluid141), ya que se optó por realizar un análisis en 2 dimensiones para tener un ahorro de cómputo. El elemento

se puede apreciar en la figura 3. Este elemento puede ser usado para modelos transitorios o estables, puede resolver para sistemas que presentan una distribución de flujo o de temperatura.

Los grados de libertad que el elemento presenta son:

- Velocidades
- Presión
- Temperatura

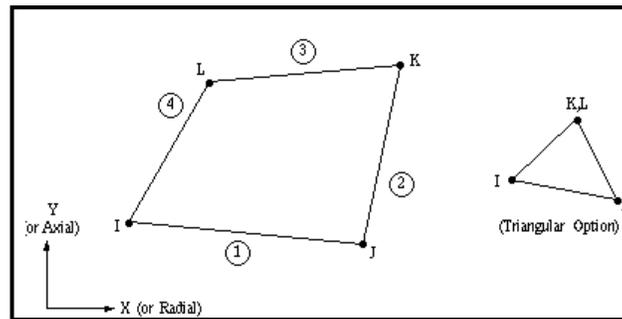


Figura 3 Elemento FLUID 141 2-D.

Una vez seleccionado el elemento que se usaría se realizó el modelado de la pieza o sistema (figura 4). El cual se realizó dentro de la plataforma de “modeling” en ANSYS APDL para posteriormente generar la malla (figura 5) correspondiente. La malla generada contiene 4168 nodos y generó 3318 elementos.

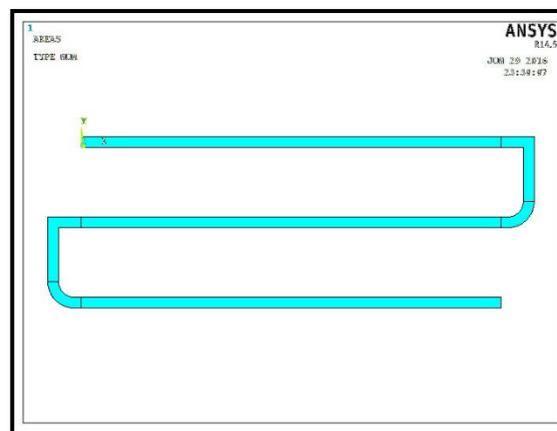


Figura 4 Modelo del sistema de tubería en ANSYS.

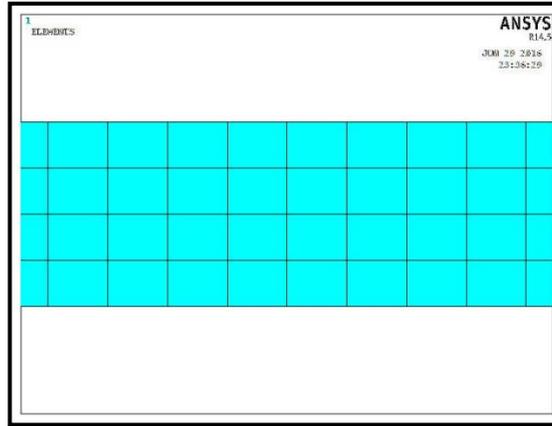


Figura 5 Malla distribuida sobre la tubería.

Pre-proceso FLOTRAN

Antes de resolver el sistema, se deben establecer las condiciones de trabajo del software, se definen los valores de las propiedades del fluido, y se especifica qué tipo de análisis se requiere, para ello en el software se encuentra la opción “FLOTRAN Set up”.

Se definió que se trataba de un análisis en estado estable, que requería un análisis térmico, con un flujo laminar, y con un flujo incompresible. También se le pidió que realice 200 iteraciones, esto con el fin de asegurar la convergencia.

Por último, se definieron los valores de las propiedades de densidad, viscosidad, calor específico, y conductividad térmica.

Condiciones de frontera

El sistema presenta algunas condiciones de frontera, las cuales fueron especificadas en el software, primeramente se determinó que las paredes de vidrio de la tubería servían como un aislante térmico, con el fin de mantener un calentamiento uniforme, la velocidad del flujo de entrada se sabe que es de 0.2622 m/s , y por efectos de la viscosidad se conoce el perfil de velocidades con lo cual se define que la velocidad tiende a cero entre más cerca de las paredes se encuentra, por último se definió 3 generadores de calor, uno en cada parte del sistema de tuberías. En la figura 6 se puede observar las condiciones aplicadas en el sistema.

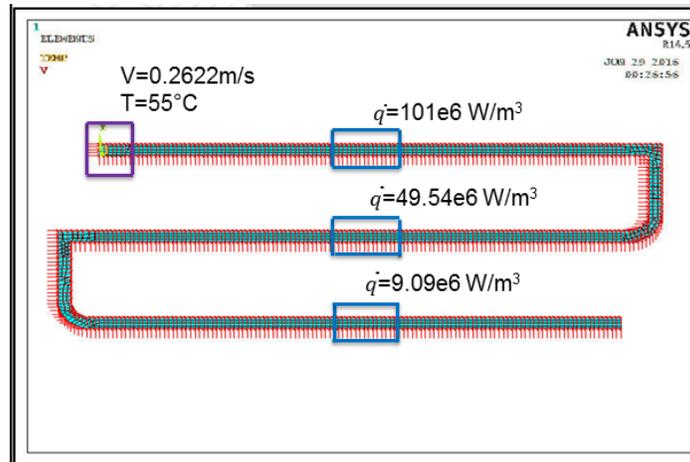


Figura 6 Condiciones de frontera.

3. Resultados

La simulación convergió a las 560 iteraciones. Una vez resuelto el sistema se procede a analizar los resultados. Los valores de interés en el sistema es el incremento de las temperaturas la cual podemos observar en la figura 7.

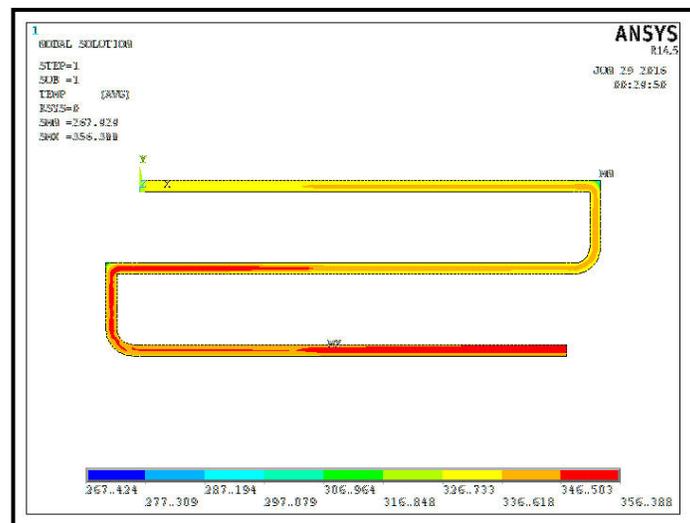


Figura 7 Valores de la temperatura.

En la entrada se observa una temperatura de 328 K (55 °C), la cual definimos como condición de frontera, para posteriormente incrementar la temperatura gradualmente al pasar por cada proceso óhmico, en el primero aumentó a 336.618

K (63.618 °C), en la salida del segundo se mostró un valor de 346.503 **K** (73.503 °C), y por ultimo a la salida de todo el sistema se observó la temperatura de 356.388 **K** (83.38 °C). Los datos obtenidos experimentalmente en el sistema físico marcan una salida a 90 °C.

Cabe recordar que en un principio se hizo énfasis en que las propiedades del fluido utilizadas en esta simulación fueron obtenidas de estudios hechas por otros grupos de investigadores y con pulpa de mango de diferentes especies a la utilizada en este proceso. Sin embargo, es notorio el funcionamiento del proceso de calentamiento óhmico, en esta situación se podría decir que la simulación realizada tiene un buen nivel de aceptación.

En la tabla 4 se pueden observar las mediciones realizadas al sistema físico dentro de la planta de producción durante 12 horas de proceso continuo, las mediciones realizadas son a la salida de cada calentador óhmico.

Tabla 4 Mediciones de la temperatura en el sistema físico (°C).

Horas Nu	8:3	9:3	10:3	11:3	12:3	13:3	14:3	15:3	16:3	17:3	18:3	19:3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ohmic o 1	77	76	77	76	76	78	78	82	85	77	79	78
Ohmic o 2	85	86	93	90	90	86	84	85	84	89	88	85
Ohmic o 3	91	90	92	90	91	91	92	90	90	92	91	92

4. Discusión

La temperatura de salida del proceso óhmico obtenida de la simulación, 83.38°C, fue congruente con los datos obtenidos experimentalmente (tabla 4), el cual registra una temperatura promedio de salida de 90 °C. Esto indica un porcentaje de error de 7.35%, esta diferencia de temperaturas se puede deber a que las propiedades del mango empleadas en la simulación fueron obtenidas de la literatura y pudiera ser que difieran respecto al mango utilizado en el proceso real. Por lo que, como trabajo

futuro se establece caracterizar las propiedades físicas de la pulpa de mango utilizada en el proceso experimental.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Ramaswamy, H. Marcotte, M.: Ohmic heating in food processing, Quebec: CRC Press, 2014.
- [2] J. Bon, J., Vaqiro, H., Benedito, J.: Thermophysical properties of mango pulp. *Journal of Food Engineering*, 2010.
- [3] Baslingappa, S., Thakor, N., WAGH, S.: Effect of temperature on viscosity of kokum, karonda, mango pulp and cashew Apple syrup. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 2013.
- [4] Sosa-Morales, M., Tiwari, G., Wang, S.: Dielectric heating as a potential post-harvest treatment of disinfesting mangoes, part I: Relation between dielectric properties and ripening, *Biosystems engineering*, 2009.