

Predicción numérica de las condiciones óptimas de giro en el cocinado tipo plancha de hamburguesas

E. Hernández-Alhambra¹, P. Guíu², B. Calvo¹, M. L. Salvador², A. Ferrer-Mairal²,
M.A Martínez¹, J. Grasa¹

¹ Applied Mechanics and Bioengineering - AMB- (T24-17R) Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: ehalhambra@unizar.es

² Grupo de Investigación de Alimentos Vegetales, Instituto Agroalimentario de Aragón IA2, Universidad de Zaragoza-CITA, Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, Spain

Resumen

Se propone una metodología numérica para predecir las condiciones microbiológicamente seguras ($\geq 71.1^\circ\text{C}$), para el cocinado tipo plancha de hamburguesas en cocinas de inducción, considerando diferente número de volteos. El modelo multifísico de elementos finitos (EF) acopla fenómenos de transferencia de calor, masa y deformación del alimento durante el cocinado.

Introducción

El modelado del procesado de alimentos, utilizando el método de los EF, se ha convertido en una importante herramienta para simular y comprender diferentes técnicas de preparación de los mismos como hornear, asar, freír y cocinar a la plancha [1, 2]. Estos procesos se rigen principalmente por el acoplamiento entre los mecanismos de transferencia de calor y masa debido a las variaciones en la temperatura y el contenido de humedad. Además, cuando se calienta el alimento, ambas propiedades influyen en el cambio de volumen que se ve afectado por las pérdida de agua y cambios estructurales originados por la temperatura. El objetivo de este estudio es definir y validar un modelo de elementos finitos (EF) que describa el comportamiento del alimento (en este caso, hamburguesas) durante el proceso de cocinado en plancha por ambas caras, con el fin de definir las condiciones óptimas de cocción.

Modelo matemático

El proceso de transferencia de calor dentro del producto, asumiendo la misma temperatura para todas las fases (proteína y agua), se puede modelar con un balance de energía único para todo el producto [3]:

$$\rho_{eff} c_{p,eff} \frac{\partial T}{\partial t} + \sum_w (n_{w,G} \cdot \nabla (C_{eff,w} T)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T)$$

siendo ρ [kg m^{-3}] la densidad del producto, C_p y $C_{p,w}$ el calor específico del producto y del agua, respectivamente, en [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$], $n_{w,G}$ el flujo másico de agua respecto a un observador estacionario y k [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] la conductividad térmica.

La hamburguesa es considerada como un material saturado, que no contiene fase gaseosa, cuyo mecanismo principal es el transporte de agua. El frente de evaporación se limita a la superficie inferior del material, por lo que no hay generación de vapor interno. Por lo tanto, la ecuación de conservación de masa en el dominio considera únicamente agua líquida:

$$\frac{\partial c_w}{\partial t} + \nabla \cdot (c_w \vec{v}_{s,G}) = \nabla \cdot (D_w \nabla c_w + D_{w,T} \nabla T)$$

siendo c_w [mol m^{-3}] la concentración de agua, $v_{s,G}$ la velocidad de deformación del medio deformable en m/s , D_w [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] la difusividad del agua y $D_{w,T}$ [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$] la difusividad del agua asociada a la variación de temperatura.

Para simular la retracción de la carne se ha utilizado un modelo hiperelástico isotrópico. La función de energía de deformación empleada ha sido la correspondiente a un material Neo-Hookean que, para materiales incompresibles, es:

$$W_{el} = \frac{K}{2} (J_{el} - 1)^2 + \frac{\mu}{2} (\bar{I}_1 - 3)$$

siendo K [Pa] y μ [Pa] el módulo de compresibilidad y el módulo elástico transversal, J_{el} es el jacobiano elástico y \bar{I}_1 es el primer invariante del tensor de Cauchy-Green derecho modificado.

Modelo de elementos finitos

Se ha desarrollado un modelo 2D axisimétrico mediante el software COMSOL Multiphysics 5.3 para reproducir el proceso de cocinado experimental

(ver Figura 1). Este modelo incluye tres partes diferentes: dos sartenes de acero de 210 mm de diámetro y 5 mm de espesor y la geometría de la hamburguesa. La carne se ha modelado como un cilindro de 20 mm de espesor. Se han simulado diferentes escenarios de cocinado; 3, 5 y 7 vueltas a intervalos regulares hasta 680 s y 3, 5 y 7 vueltas hasta alcanzar 71,1 °C en el punto central de la hamburguesa. En todos ellos se ha aplicado el control de potencia de la cocina de inducción para mantener una temperatura constante sobre la sartén.

Resultados

La Figura 2 muestra la evolución de las variables más significativas del cocinado, pérdida de peso, retracción y temperatura central del alimento para tres cocinados diferentes. Se observa que los resultados numéricos para la temperatura se ajustan bien a los experimentales, considerando una desviación en la posición de la sonda de 1 mm respecto a la posición central. En cuanto a la pérdida de agua y a su retracción, en la Figura 2 se observa que los resultados computacionales ajustan de nuevo los experimentales. Finalmente, se obtiene una superficie de respuesta (Figura 2) que relaciona el tiempo total de cocinado, las vueltas realizadas durante el mismo y la pérdida de peso final del alimento relacionándolo con las condiciones que aseguran la seguridad microbiológica para el consumidor.

Conclusiones

El número de volteos aplicado sobre el alimento, así como el tiempo de cocinado por cada lado, presentan gran influencia en el estado final del producto. Para un mismo tiempo de cocinado, un mayor número de vueltas ofrece una mayor homogeneización del

producto, así como una temperatura central mayor. En cuanto a la pérdida de peso, se observa el mismo comportamiento para cocinados con un mayor número de vueltas, siendo mayor cuando aumentan los giros. No se observan cambios en la retracción al aumentar el número de vueltas.

Finalmente, la construcción numérica de superficies de respuesta permite predecir el estado final del producto y encontrar las condiciones óptimas de cocinado.

Referencias

- [1] Moya, J.; Lorente-Bailo, S.; Salvador, María ; Ferrer-Mairal, A.; Martínez, M.A.; Calvo, B.; Grasa, J.. (2021). Development and validation of a computational model for steak double-sided pan cooking. *Journal of Food Engineering*. 298. 110498. 10.1016/j.jfoodeng.2021.110498.
- [2] Hernández-Alhambra, E., Guñu, P., Cabeza-Gil, I., Ferrer-Mairal, A., Martínez, M., Calvo, B., Grasa, J., Salvador, M., 2024. Towards domestic cooking efficiency: A case study on burger pan frying using experimental and computational results. *Journal of Food Engineering* 363, 111783. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111783.
- [3] Dhall A. and Datta A.K., 2011. Transport in deformable food materials: A poromechanics approach. *Chemical Engineering Science*, 66, no. 24, 6482–6497. doi:10.1016/j.ces.2011.09.00

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo del proyecto CPP2021-008938 HIPATIA financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea «Next Generation EU/PRTR»; y por el Grupo BSH Electrodomésticos.

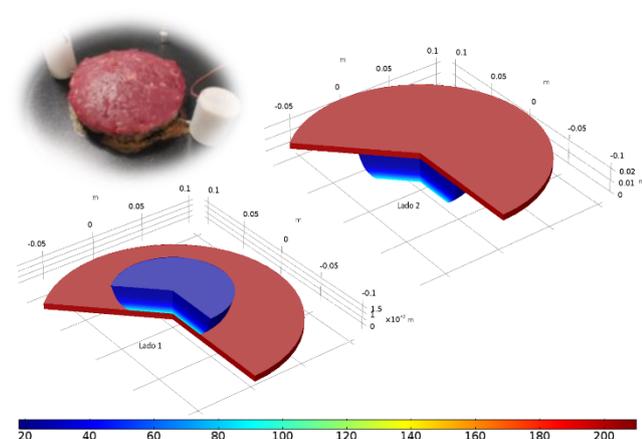


Figura 2. Temperatura en la hamburguesa y la sartén en dos instantes diferentes del cocinado y montaje experimental.

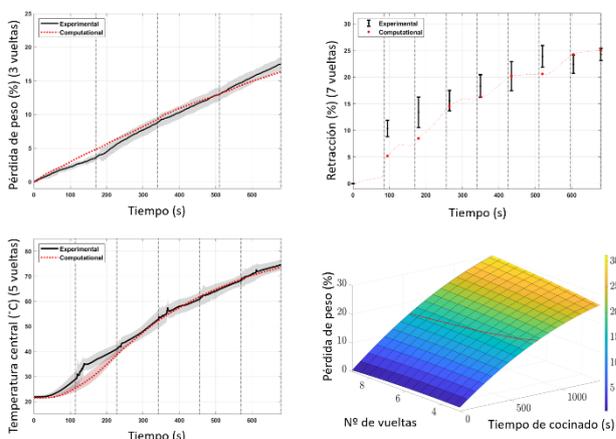


Figura 2. Resultados de diferentes cocinados simulados para 3, 5 y 7 vueltas.