

## Evaluación de las propiedades físicas de la masa de las donas durante la fritura profunda a diferentes temperaturas – Análisis crítico

### Evaluation of physical properties of donuts mass during deep frying at different temperature - critical analysis

Gómez-Daza J.C \*

\* Ph.D. en Ingeniería, docente Universidad del Valle

#### Resumen

La fritura es un proceso de cocción que consiste en someter un alimento a altas temperaturas, utilizando aceite o grasa como medio de transferencia de calor. En este trabajo, una masa con base en harina de trigo y levadura como agente leudante, se sometió a fritura en aceite de girasol a diferentes temperaturas para producir donas. Se monitorizaron varias propiedades físicas cada 15 segundos. Se cuantificó el contenido de humedad y contenido de aceite en los productos y se midieron propiedades físicas como densidad aparente, volumen, color; propiedades térmicas, propiedades reológicas (textura y análisis de perfil de textura). Se aplicaron modelos fundamentales para la transferencia de calor y masa y se generaron ecuaciones empíricas para ajustar la evolución de las propiedades durante el proceso. El color se ajustó a una cinética de primer orden y se calculó la energía de activación. Se corroboró que todas las mediciones representan pruebas simples, muy útiles para la evaluación del proceso de las donas y productos similares sometidos a fritura. Como aporte del autor, se realizó un análisis crítico del artículo original. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis crítico al artículo *Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures* (Vélez-Ruiz y Sosa-Morales, 2003). Se encontró que las donas de la formulación evaluada se pueden fritar en tiempos de 75-120 s en relación inversa a la temperatura de fritura.

**Palabras clave:** donas, modelación matemática, sensorial, textura, aceite girasol.

#### Abstract

Frying is the cooking process of exposing any food stuff to high temperature, using either oil or grease as a heat transference means. During this work a wheat based mass and yeast as a leavening agent, was subject to frying in sunflower oil at various temperature degrees to produce donuts. Several physical properties were monitored each 15 seconds. Humidity and oil content in the product was counted, and physical properties, such as apparent density, volume, and color were measured; as well as thermal properties, and rheological (texture and texture profile analysis). Fundamental models for heat transference and mass were applied, and empirical equations were produced to adjust properties evolution along the process. Color was adjusted to a simple kinetic, and activation energy was calculated. It was confirmed that all measurements represent simple tests, very useful for evaluating donuts process and similar products subject to frying. As a contribution by the author, a critical analysis was performed to the original article. The purpose of this work is to perform a critical analysis to the article *Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures* (Vélez-Ruiz and Sosa-Morales, 2003). It was found that donuts from evaluated formulation may be fried for times of 75-120 s in inverse relationship to frying temperature.

**Keywords:** Donuts; mathematic modeling; sensor, texture, sunflower oil.

Recibido: 02/07/2014  
Revisado: 20/09/2014  
Aceptado: 10/11/2014

Correspondencia de autor:

juan.gomez.d@correounivalle.edu.co

© 2014 Universidad La Gran Colombia. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia *Creative Commons Attribution License*, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que el autor original y la fuente se acrediten.

#### Cómo citar:

Gómez-Daza J.C (2014) Evaluación de las propiedades físicas de la masa de las donas durante la fritura profunda a diferentes temperaturas – Análisis crítico. *Revista UGCiencia* 20. 87-95

## Introducción

Los alimentos son sistemas complejos, dinámicos con distribuciones no uniformes de pequeñas moléculas y biopolímeros. Aparte de sus complicaciones de heterogeneidad, compartimentación, y numerosos componentes, tienen además, la naturaleza compleja de las múltiples interacciones moleculares (no idealidad) y procesos de no equilibrio (Baianu, 1992). Una descripción apropiada de un sistema químico debe considerar tres aspectos: energético, estructural y dinámico (Franks, 1991).

Las donas, también llamadas *pasteles fritos*, se conocen, fabrican y consumen desde la antigüedad en muchos países europeos. Hay dos tipos de donas, las leudadas y las tipo pastel. Ambos tipos se hacen con ingredientes similares y mediante fritura profunda. Su textura y contenido de aceite son diferentes; las donas leudadas tienen textura y miga parecida al pan, con un contenido de aceite de 25% (b.h.), mientras que las donas tipo pastel tienen una estructura celular fina y una miga blanda, parecida al pastel, con un contenido de aceite alrededor de 20% (b.h.). Las donas pastel se hacen con masa endulzada y leudada con polvo de panadería, se fríen en 90 s -45 s cada lado- en un rango de temperatura de 190 a 198 °C. Las donas leudadas se hacen de masa dulce fermentada con levadura, se fríen de 182 a 190 °C por 75 s cada lado (Moreira, Castell-Perez y Barrufet, 1999).

La fritura profunda es un proceso de cocción que involucra la transferencia simultánea de calor y masa; el calor se transfiere del aceite caliente al producto, y el aceite se absorbe. La calidad del producto freído se ve afectado por una combinación de diversos factores, las propiedades termofísicas del producto y el aceite, la geometría del producto, la temperatura del aceite, y las condiciones que conducen a la degradación del aceite durante el proceso.

La formación de la corteza durante el proceso juega un papel como barrera térmica y el incremento de su espesor requiere seguimiento (Tangduangdee, Bhumiratana y Tia, 2004). Trystram *et al.* (1999), realizaron la medición indirecta y el control del contenido de humedad durante la deshidratación por fritura; Krokrida *et al.* (2001), evaluaron los cambios de color durante la fritura profunda; Albert y Mittal (2002), hicieron la evaluación comparativa de recubrimientos comestibles para reducir la ganancia de aceite en productos de cereal en fritura profunda; Baik y Mittal (2005), simularon la transferencia de calor y humedad y el encogimiento de la fritura profunda de tofu; Budzaki y Seruga (2005), determinaron el coeficiente de transferencia de calor convectivo durante la fritura de masa de papa; Bouchon y Pyle (2005), modelaron la absorción de aceite

durante el enfriamiento post-fritura en chips de papa; Valdés y García (2006), realizaron un estudio de la evolución de las características fisicoquímicas y estructurales de aceites de oliva y girasol después del calentamiento a temperaturas de fritura.

Bertolini *et al.* (2008), compararon el proceso de fritura profunda en sistemas de masa recubiertas y sin recubrimiento; Morales y Arribas-Lorenzo (2008), estudiaron la formación de compuestos potencialmente dañinos en los churros, debido a las condiciones de fritura profunda; Chotimarkorn y Silalai (2008), estudiaron la adición de aceite de arroz al aceite de soya durante la fritura para incrementar la estabilidad oxidativa de masas fritas durante el almacenamiento; Gazmuri y Bouchon (2009), analizaron matrices de almidón y gluten de trigo durante la fritura profunda; Troncoso, Pedreschi y Zúñiga (2009), realizaron un estudio comparativo de las propiedades físicas y sensoriales de rodajas de papa pretratadas durante la fritura en vacío y atmosférica; Maneerote, Noomhorm y Singh (2009), optimizaron las condiciones de procesamiento para reducir la ganancia de aceite y mejorar las propiedades fisicoquímicas de arroz crujiente frito.

Las masas, por ser alimentos se pueden analizar bajo el mismo esquema, y dado que el aspecto energético es el fundamental para la descripción de los sistemas químicos, la temperatura es una de las variables independientes que se toman como referencia para hacer un seguimiento a las propiedades de la masa para donas durante la fritura profunda. El objetivo de este trabajo es realizar un análisis crítico al artículo *Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures* (Vélez-Ruiz y Sosa-Morales, 2003). Además, realizar una nueva modelación del comportamiento de las variables. Los aportes aparecen en cursiva negra.

## Materiales y métodos

### Formulación de la masa

Se preparó por el método esponja y masa. La esponja incluye 100 g de harina, 12 g de levadura y 60 g de agua; se combina con 137.5 g de harina, 37.5 g de huevo, 37.5 g de mantequilla, 38 mL de leche, 20 g de azúcar, 2 g de sal y 3 mL de vainilla. La masa se formó por homogenización de los ingredientes. Las donas se forman con un dispositivo mecánico.

Hay dos formas de formar las donas, el método de lámina y corte y el método de extrusión. Las donas blandas se manejan en equipos de extrusión y el mé-

todo de lámina y corte se usa en general para donas leudadas (Moreira, Castell-Perez y Barrufet, 1999). La harina de trigo es única entre los productos de cereal que se pueden transformar en masas coherentes y elásticas al mezclarlas con agua bajo condiciones apropiadas (Desrosier, 1983).

## Proceso de fritura

Se realizó en un freidor por lotes comercial de 5 L con calentamiento por resistencia eléctrica y lleno con aceite de girasol. Las donas se sumergieron cuando se alcanzó la temperatura deseada, se tomaron muestras periódicamente (cada 15 s). Las muestras permanecieron unos pocos segundos en papel absorbente, y se enfriaron a temperatura ambiente. Finalmente, se colocaron en bolsas de polietileno antes de las determinaciones experimentales.

En la práctica, existen tres sistemas para el calentamiento y control del aceite de fritura: directo, indirecto y externo cada uno con sus ventajas y desventajas (Moreira, Castell-Perez y Barrufet, 1999). El equipo utilizado en el artículo corresponde al primer tipo. La escogencia del freidor es una de las primeras decisiones que afectan la calidad y hay criterios para estimar qué escala de operación se debe utilizar, pequeña o gran escala (Jacobson, 1991). En el artículo se trabajó a escala de laboratorio y no se siguió un protocolo adecuado para escoger el aceite de fritura. (Desrosier, 1983).

## Determinación del contenido de aceite y humedad

El contenido de humedad se determinó por secado en una estufa convencional adoptando el método oficial A.O.A.C. (925.10) y el contenido de aceite se determinó usando el método de Goldfish con éter de petróleo durante 6 horas. El contenido de humedad es una propiedad importante para mantener la calidad del producto frito. En base húmeda se define como Moreira, Castell-Perez y Barrufet, 1999):

$$MC_{bh} = \frac{\text{masa}_{\text{agua}}}{\text{masa}_{\text{producto, húmedo}}} 100 \quad [1]$$

El contenido de aceite es uno de los principales atributos de calidad de productos fritos. Un alto contenido de aceite es costoso para el procesador y resulta en un producto aceitoso e insípido. Se determina gravimétricamente por Moreira, Castell-Perez y Barrufet, 1999):

$$OC_{bh} = \frac{\text{masa}_{\text{aceite}}}{\text{masa}_{\text{producto}}} 100 \quad [2]$$

## Medición de las propiedades físicas

La densidad aparente se midió por el método de desplazamiento. Los cambios dimensionales se midieron con una escala Vernier, antes y después del tiempo de residencia. El volumen se calculó con la siguiente ecuación, basado en un cilindro hueco:

$$V = \pi \left( \frac{D^2 - d^2}{4} \right) e \quad [3]$$

Donde D es el diámetro interno (cm), d el diámetro externo (cm) y e el espesor de la dona (cm). La expresión (4) como está planteada en el artículo daría un valor negativo para el volumen. El cambio de volumen se obtuvo de

$$\Delta V(\%) = \frac{V_o - V_t}{V_o} 100 \quad [4]$$

El color de la corteza se midió por reflectancia en un colorímetro triestímulos, y se calculó la diferencia de color como

$$\Delta E = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]} \quad [5]$$

Las propiedades térmicas se midieron con un instrumento Thermolink, que es un nanovoltímetro con sensor de prueba de propiedades térmicas. Las propiedades reológicas relativas a la textura se realizaron en un instrumento analizador de textura. El TPA instrumental se basó en una prueba de Bourne para pan modificada.

El color está entre los principales factores que influyen en la aceptación de un producto frito. Éste puede indicar alta calidad del producto y puede influir en el reconocimiento del sabor. El término textura no está bien definido en la tecnología de procesamiento de alimentos. Consiste en número de sensaciones físicas diferentes o un grupo de características físicas que: (1) surgen de los elementos estructurales del alimento; (2) son percibidos por los sentidos; (3) están relacionados con la deformación, desintegración, y el flujo del alimento bajo fuerza; y (4) se miden objetivamente por funciones de masa, tiempo y distancia (Moreira, Castell-Perez y Barrufet, 1999).

## Diseño experimental y análisis de los datos

Se evaluaron tres temperaturas de fritura (180, 190 y 200 °C) y 8 tiempos de fritura (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 y 120 segundos). Se obtuvieron modelos de ajuste de Microcal Origin 3.0.

## Resultados y discusión

La formación de color atribuido al pardeamiento no-enzimático se ajustó a una cinética de primer orden. Así, la claridad  $L$ , el parámetro más significativo en el color de las donas a través del proceso de fritura, se ajustó a una relación logarítmica, que relaciona el cambio en  $L$  (%), respecto al tiempo de proceso.

$$\ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = -kt$$

[6]

Basados en el modelo de Arrhenius, se calculó la energía de activación del proceso, mediante

$$k = k_0 e^{-E_a/RT}$$

Los valores de velocidad [7] calculados a las tres temperaturas fueron:  $k_{180} = 0.0026 \text{ s}^{-1}$ ,  $k_{190} = 0.0031 \text{ s}^{-1}$  y  $k_{200} = 0.0032 \text{ s}^{-1}$ ; por lo tanto la velocidad de pardeamiento se incrementa cuando aumenta la temperatura de fritura. La energía de activación del proceso fue  $E_a = 4.44 \text{ kcal/mol}$ . Estos resultados indican una baja dependencia del oscurecimiento de las donas respecto a la temperatura de fritura en el rango estudiado de 180-200 °C, y que el pardeamiento no-enzimático en la fritura de donas es una transformación muy rápida. No se requiere mucha energía para promover el cambio de color de la corteza.

Con base en los datos reportados, la conductividad térmica fue constante a las tres temperaturas. El calor específico varía un poco con la temperatura del aceite, la tendencia creciente se atribuye a la pérdida de humedad, y se observa un ligero incremento sólo en las últimas etapas de fritura. La difusividad térmica se determina a partir de la relación fundamental:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad [8]$$

Se encuentra un incremento en la conductividad térmica (difusividad térmica) respecto al tiempo de fritura.

Finalmente, la evaluación de las propiedades reológicas, los parámetros texturales dados por las fuerzas de compresión  $F_c$  (N) y penetración  $F_p$  (N), exhiben una trayectoria incremental, aunque no dependen de la temperatura, representando muy bien los cambios estructurales y bioquímicos que se desarrollan en las masas. Los autores ajustaron los datos a ecuaciones cúbicas.

A continuación se presentan los datos procesados para los diferentes análisis. En las figuras 1 y 2 se presentan la evolución del contenido de humedad y de aceite respectivamente.

La pérdida de humedad de la dona durante el proceso de fritura presenta en general, un periodo inicial de caída rápida seguido por un periodo de pérdida constante (figura 1) y no se evidencia diferencias por efecto de la temperatura. En contraste, la ganancia de aceite se incrementa con el tiempo de fritura, y presenta una relación inversa en función de la temperatura del proceso (figura 2).

Figura 1. Evolución del contenido de humedad en la fritura de masa para donas

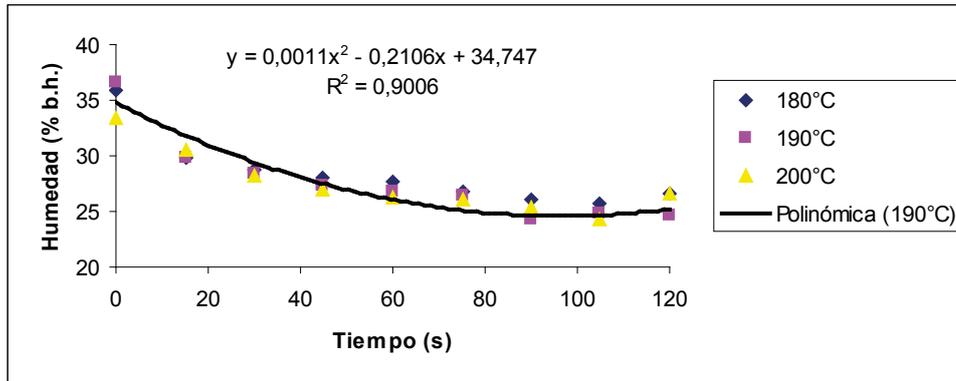
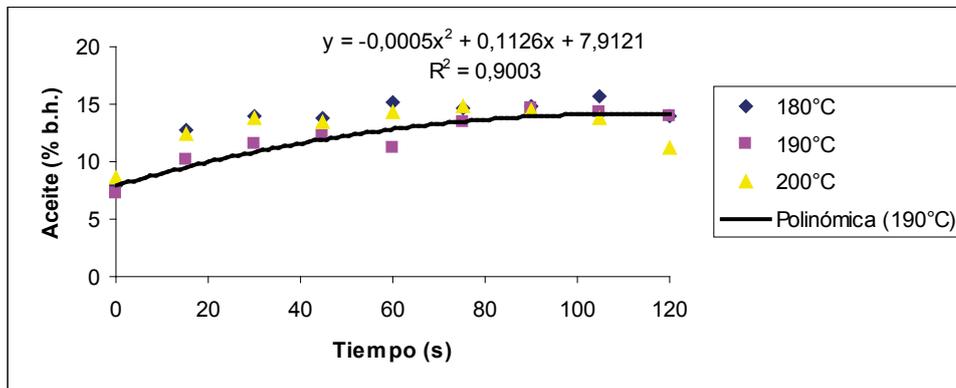


Figura 2. Evolución del contenido de aceite en la fritura de masa para donas



Las figuras 1 y 2 permiten una comparación más pictórica acerca de la evolución de dos propiedades claves en la calidad de las donas. Ambas curvas se ajustan a una ecuación cuadrática siendo decreciente y ascendente para la humedad y el aceite, respectivamente.

En las figuras 3, 4 y 5 se presentan la evolución de la densidad, el cambio de volumen y el cambio de color, respectivamente.

La densidad de la dona se midió como  $526.9 \text{ kg/m}^3$ , cambiando inmediatamente con el inicio del proceso de fritura, mostrando una tendencia decreciente en función del tiempo de fritura, la temperatura del aceite y las características de los ingredientes (figura 3).

Los cambios del porcentaje de volumen de la donas a las tres temperaturas muestran un aumento (figura 4). Esto resalta dos aspectos prácticos: uno es el hecho a nivel comercial, donde las temperaturas menores generan mayores volúmenes; el segundo es la mejor aceptación de las donas por el consumidor relativas al tiempo de fritura.

Los resultados indican que el cambio de color se incrementa con el tiempo y temperatura del proceso (figura 5).

De la figura 3 se puede inferir que la densidad de la masa evoluciona de manera parabólica durante el proceso de fritura para las tres temperaturas. El cambio de volumen (figura 4) y el cambio de color (figura 5) se ajustan también a una ecuación cuadrática, sin embargo, para el cambio de volumen se nota una diferencia marcada entre la evolución

Figura 3. Evolución de la densidad en el proceso de fritura de masa para donas

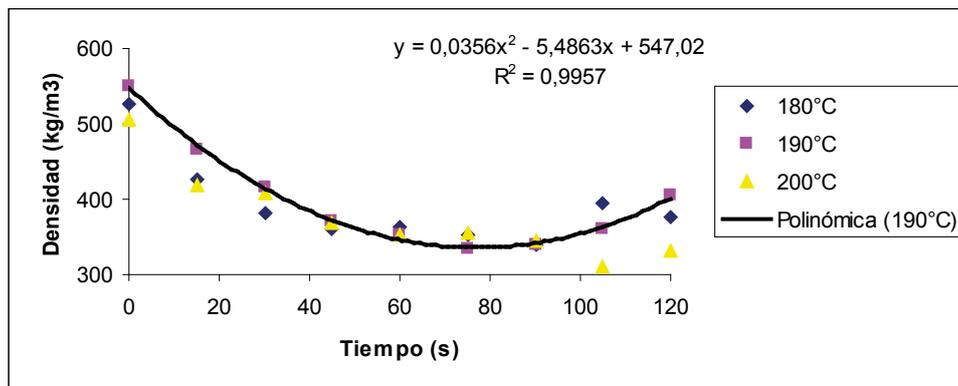


Figura 4. Evolución del cambio de volumen en el proceso de fritura de masa para donas

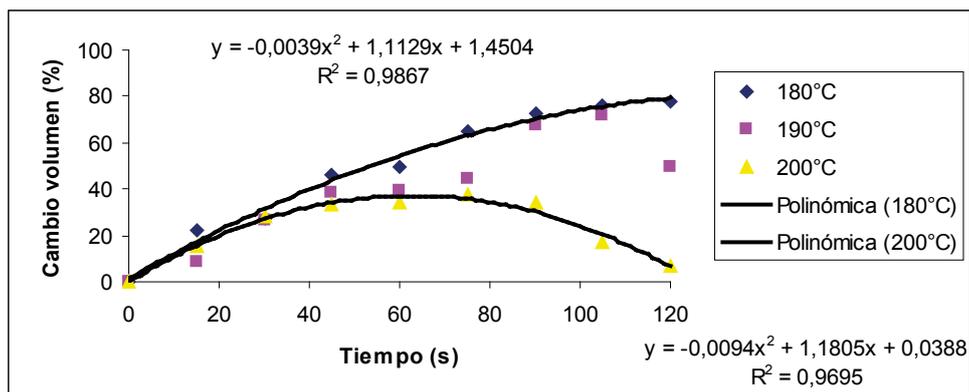
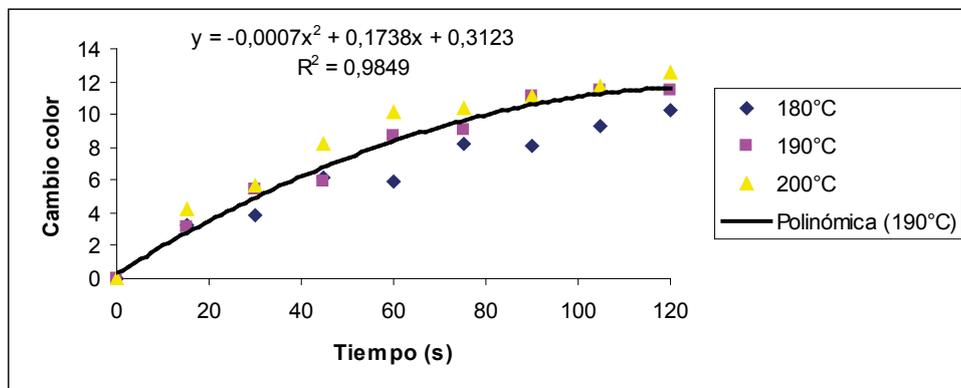


Figura 5. Evolución del cambio de color en el proceso de fritura de masa para donas

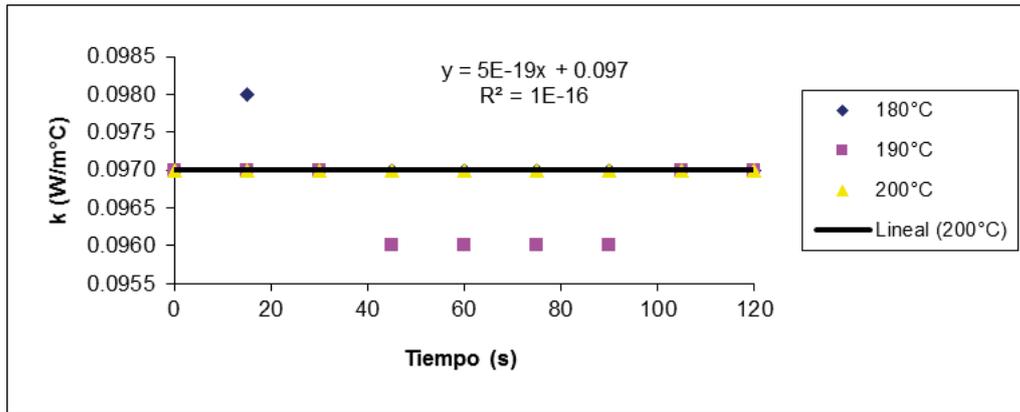


a menor temperatura (180 °C) y la de mayor temperatura (200 °C), en especial en las últimas etapas del proceso, estos, a partir de los 60 s.

En las figuras 6, 7 y 8 se presentan la evolución de las propiedades térmicas conductividad, calor específico y difusividad térmica, respectivamente.

De las figuras 6, 7 y 8 se puede inferir que la conductividad térmica del material se mantiene constante durante el proceso, el calor específico se ajusta a una ecuación cúbica y la difusividad térmica ajusta a un polinomio de grado cuatro, respectivamente.

**Figura 6.** Evolución de la conductividad térmica durante la fritura de masas para dona



**Figura 7.** Evolución del calor específico durante la fritura de masas para dona

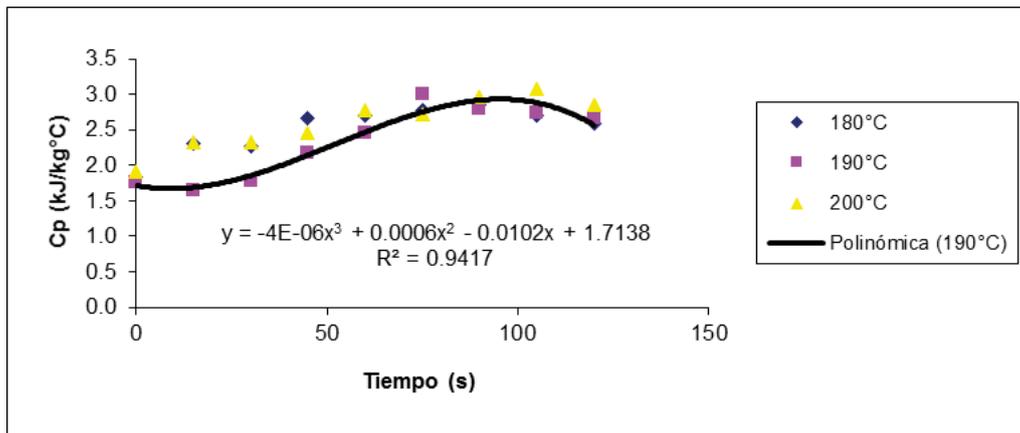
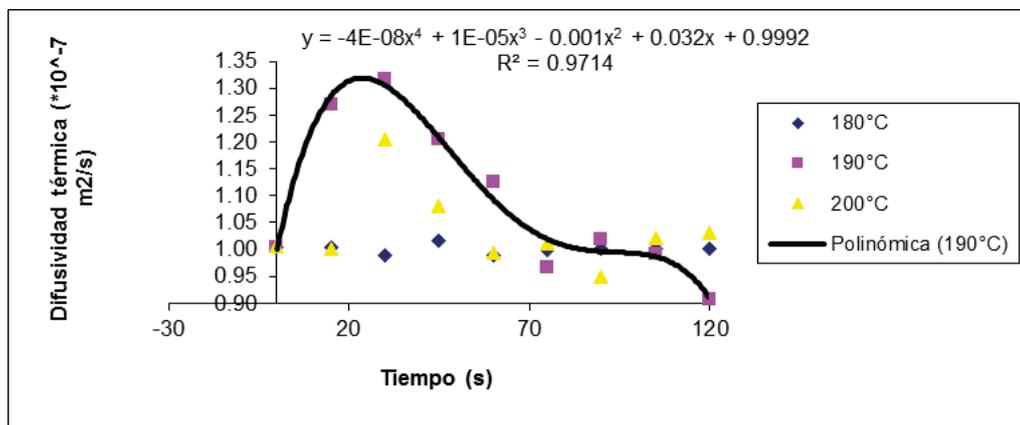


Figura 8. Evolución de la difusividad térmica durante la fritura de masas para dona



## Conclusiones

Se evidenció un efecto del tiempo y la temperatura de fritura sobre la calidad física, textura y química de las donas, se encontró una relación inversamente proporcional entre estos dos parámetros. El análisis matemático y estadístico de los datos, debe ser riguroso para que se tenga ajustes confiables para las propiedades y la predicción del comportamiento físico, químico y reológico del material bajo estudio. El color se ajustó a una cinética de primer orden. La energía de activación indicó que el oscurecimiento de las donas durante la fritura tiene poca dependencia con la temperatura. Se corroboró que todas las mediciones representan pruebas simples, muy útiles para la evaluación del proceso de las donas y productos similares sometidos a fritura. Se encontró que las donas de la formulación evaluada se pueden fritar en tiempos de 75-120 s en relación inversa a la temperatura de fritura.

## Referencias bibliográficas

- Albert, S. y Mittal, G.S. (2002). Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Research Internacional*, 35, 445-458
- Baianu, I.C. (1992). *Physical Chemistry of Food Processes*. Volume 1. Westport, USA: AVI Publishing
- Baik, O. y Mittal, G.S. (2005). Heat and moisture transfer and shrinkage simulation of deep-fat tofu frying. *Food Research Internacional*, 38, 183-191
- Bertolini, R., Campañone, L.A., García, M.A. y Zaritzky, N.E. (2008). Comparison of the deep frying process in coated and uncoated dough systems. *Journal of Food Engineering*, 84, 383-393
- Bouchon, P. y Pyle, D.L. (2005). Modelling oil absorption during post-frying cooling I: Model development. *Food and Bioproducts Processing*, 83(C4), 253-260
- Budzaki, S. y Seruga, B. (2005). Determination of convective heat transfer coefficient during frying of potato dough. *Journal of Food Engineering*, 66, 307-314
- Chotimarkorn, C. y Silalai, N. (2008). Addition of rice bran oil to soybean oil during frying increases the oxidative stability of the fried dough from rice flour during storage. *Food Research Internacional*, 41, 308-317
- Desrosier, N.W. (1983). *Elementos de Tecnología de Alimentos*; CECSA: México; 498, 505
- Franks, F. (1991). New perceptions of water relationships in foods. In: Levine, H. y Slade, L. (1991). *Water relationships in foods: Advances in the 1980s and trends for the 1990s*. New Cork: Plenum Press
- Gazmuri, A.M. y Bouchon, P. (2009). Análisis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying. *Food Chemistry*, 115, 999-1005
- Jacobson, G.A. (1991). Quality control in deep-fat frying operations. *Foods Technology*, 45(2), 72-74

- Krokrida, M.K., Orcopoulou, V., Maroulis, Z.B. y Marinou-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48, 219-225
- Maneerote, J., Noomhorm, A. y Singh, P. (2009). Optimization of processing conditions to reduce oil uptake and enhance physico-chemical properties of deep fried rice crackers. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 805-812
- Morales, F.J. y Arribas-Lorenzo, G. (2008). The formation of potentially harmful compounds in *churros*, a spanish fried-dough pastry, as influenced by deep frying conditions. *Food Chemistry*, 109, 421-425
- Moreira, R.G., Castell-Pérez, M.E. y Barrufet, M.A. (1999). *Deep-fat frying: Fundamentals and applications*; Gaithersburg, Maryland: Aspen Publishers, Inc.
- Tangduangdee, C., Bhumiratana, S. y Tia, S. (2004). The role of moisture movement and crust thermal property on heat and mass transfer process during deep-fat frying. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 31(1), 73-84
- Troncoso, E., Pedreschi, F. y Zúñiga, R.N. (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT – Food Science and Technology*, 42, 187-195
- Trystram, G., Trélea, I.C., Raoult-Wack, A.L., Díaz, A. y Courtois, F. (1999). Indirect measurement and control of moisture content during dehydration performed by frying. *Drying Technology*, 17 (7 y 8), 1627-1637
- Valdés, A.F. y García, A.B. (2006). A study of the evolution of the physicochemical and structural characteristics of olive and sunflower oils after heating at frying temperatures. *Food Chemistry*, 98, 214-219
- Vélez-Ruiz, J.F. y Sosa-Morales, M.E. (2003). Evaluation of physical properties of dough of donuts during deep-fat frying at different temperatures. *International Journal of Food Properties*, 6(2), 341-353