

Esterilización de Alimento Líquido No Newtoniano de Ley de Potencia en Envase Rectangular

Simulación Numérica Mediante Método de los Volúmenes Finitos

Nelson Moraga; José Riquelme; Diego A. Vasco

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

TEMARIO

- Antecedentes
- Objetivos
 - Esterilización
 - Ley de potencias Vs. Ley de potencias modificado
- Esterilización de alimentos
- Metodología
 - Estudio numérico mediante MVF
- Resultados
 - Comportamiento transiente de variables adimensionales
- Conclusiones

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

ANTECEDENTES

-Tensor esfuerzo de corte-

$\tau_{ij} = \mu \dot{\gamma}_{ij}$

$\tau_{ij} = -\eta(\dot{\gamma})\dot{\gamma}$

$\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2}(\Delta_i \Delta_i)}$

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

ANTECEDENTES

Fluidos no Newtonianos

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

OBJETIVOS

Proceso de esterilización de un alimento no Newtoniano (CMC).

Predicción de mecánica de fluidos ($\vec{V}; \psi$)

Descripción de convección natural (θ)

Análisis del efecto de dos modelos diferentes de viscosidad

$\eta = \eta_0 \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$

$\eta = \eta_0 \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \exp\left[\frac{n \cdot \Delta E}{R_s T_f}\right]$

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Proceso de Esterilización

Eliminación de **todos** los microorganismos

Pérdida **irreversible** de su capacidad de reproducción

Minimizar pérdidas de nutrientes y propiedades sensoriales

Clostridium botulinum

$D_{121} = 0.20 \text{ min}$

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Proceso de Esterilización

Condiciones: Vapor saturado a temperaturas mayores de 120°C
Equipo: Autoclave
Usos: Esterilización de materiales y productos termoestables.

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

METODOLOGÍA

Método de Volúmenes Finitos

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{v}\phi) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) + S_p\phi + S_c$$

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Metodología

-Situación Física y Discretización del Dominio-

Malla no uniforme 160x120 nodos

Envase de acero galvanizado.
Fluido Interno: CMC inicialmente a 40 °C.
Fluido de calentamiento: Vapor de agua inicialmente a 121 °C.
 Las paredes de la cavidad a temperatura constante ($T_w = 121 \text{ °C}$)

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Metodología

-Modelo Matemático-

Continuidad $\frac{\partial u_f}{\partial x} + \frac{\partial v_f}{\partial y} = 0$

ml_x $\rho_f \left[\frac{\partial u_f}{\partial t} + u_f \frac{\partial u_f}{\partial x} + v_f \frac{\partial u_f}{\partial y} \right] = -\frac{\partial p_f}{\partial x} - \left[\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right]$

ml_y $\rho_f \left[\frac{\partial v_f}{\partial t} + u_f \frac{\partial v_f}{\partial x} + v_f \frac{\partial v_f}{\partial y} \right] = -\frac{\partial p_f}{\partial y} + \left[\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right] + \rho_f g \beta_f (T - T_{ref})$

Energía $\rho_f C_p \left[\frac{\partial T_f}{\partial t} + u_f \frac{\partial T_f}{\partial x} + v_f \frac{\partial T_f}{\partial y} \right] = k_f \left[\frac{\partial^2 T_f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2} \right] + \rho_f C_p \frac{\partial T_w}{\partial t} = k_w \left[\frac{\partial^2 T_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_w}{\partial y^2} \right]$

Esfuerzos $\tau_{xx} = -\eta \left[2 \frac{\partial u_f}{\partial x} \right]$ $\tau_{yy} = -\eta \left[2 \frac{\partial v_f}{\partial y} \right]$ $\tau_{xy} = \tau_{yx} = -\eta \left[\frac{\partial u_f}{\partial y} + \frac{\partial v_f}{\partial x} \right]$

Velocidad de deformación $\gamma = \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u_f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_f}{\partial y} \right)^2 \right] + \left[\frac{\partial v_f}{\partial x} + \frac{\partial u_f}{\partial y} \right]^2 \right\}^{1/2}$

Modelo de viscosidad 1 $\eta = \eta_0 \cdot \gamma^{n-1} \exp \left[\frac{\rho \cdot \Delta E}{R_f T_f} \right]$ 2 $\eta = \eta_0 \cdot \gamma^{n-1}$

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Metodología

-Discretización del Modelo Matemático-

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\vec{v}\phi) = \text{div}(\Gamma \text{ grad } \phi) + S_p\phi + S_c$$

| ϕ | Γ | P | Sc | Sp |
|------------|----------|--------------------------------|--|---|
| U | η^* | $\frac{Ra}{\sqrt{Pr}}$ | $\frac{U_{(i,j,k+1)} - U_{(i,j,k)}}{\Delta \tau} \frac{Ra}{\sqrt{Pr}}$ | $-\frac{1}{\Delta \tau} \frac{Ra}{\sqrt{Pr}}$ |
| V | η^* | $\frac{Ra}{\sqrt{Pr}}$ | $\frac{Ra}{\sqrt{Pr}} \theta + \frac{V_{(i,j,k+1)} - V_{(i,j,k)}}{\Delta \tau} \frac{Ra}{\sqrt{Pr}}$ | $-\frac{1}{\Delta \tau} \frac{Ra}{\sqrt{Pr}}$ |
| θ_f | 1 | $\sqrt{Ra} \sqrt{Pr}$ | $\frac{\theta_{(i,j,k+1)} - \theta_{(i,j,k)}}{\Delta \tau} \sqrt{Ra} \sqrt{Pr}$ | $-\frac{1}{\Delta \tau} \sqrt{Ra} \sqrt{Pr}$ |
| θ_w | 1 | $\alpha^* \sqrt{Ra} \sqrt{Pr}$ | $\frac{\theta_{(i,j,k+1)} \alpha^* - \theta_{(i,j,k)} \alpha^*}{\Delta \tau} \sqrt{Ra} \sqrt{Pr}$ | $-\frac{1}{\Delta \tau} \alpha^* \sqrt{Ra} \sqrt{Pr}$ |

| | Fluido interno | Fluido Externo |
|----|----------------|----------------|
| Ra | 4109.19 | 1.026E+7 |
| Pr | 79841.43 | 11.343 |
| Gr | 5.1612E-2 | 904691 |

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Metodología

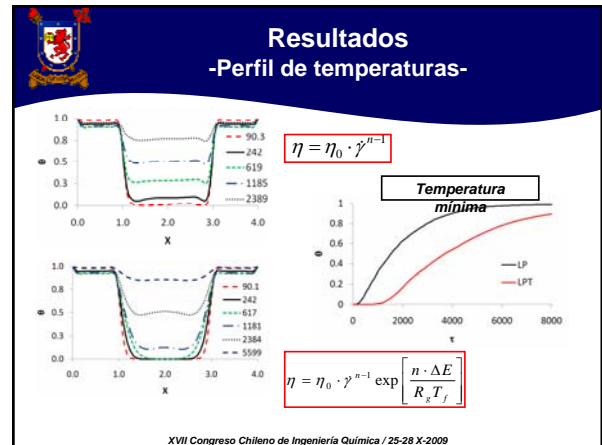
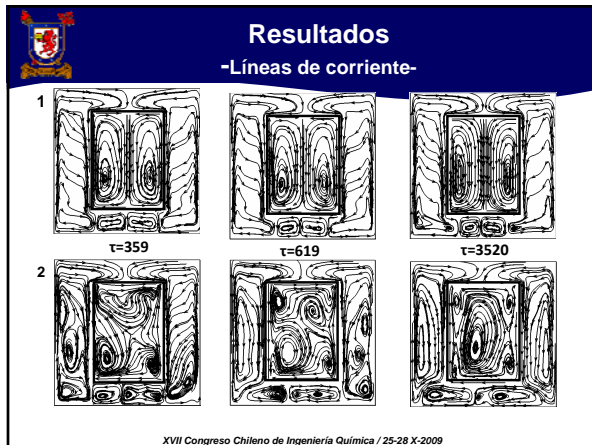
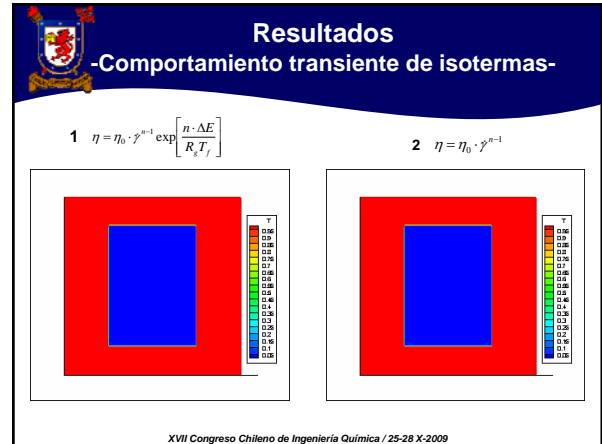
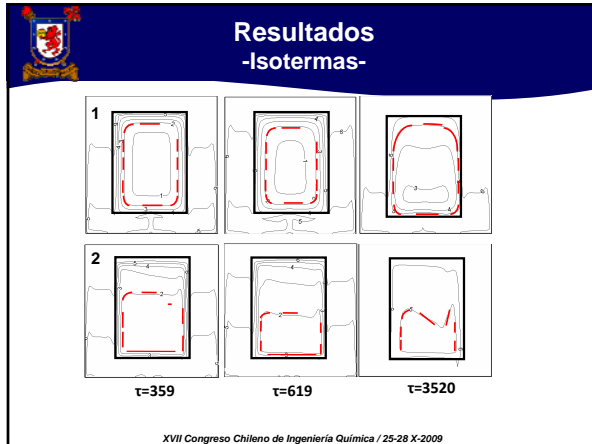
-Solución del Sistema de Ecuaciones-

Algoritmo Simple

Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations Patankar & Spalding (1972) Método Iterativo

- Suposición inicial del campo de presiones y velocidades
- Cálculo de presiones y velocidades corregidas a partir de ecuaciones de momentum
- Solución de otras ecuaciones de transporte
- Criterio de convergencia (<1.0E-3)

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009



Conclusiones

La **convección natural** tiene un efecto importante en la transferencia de calor en el proceso de esterilización estudiado.

Se predice en ambos casos que La posición del punto más lento de calentamiento (**SHZ**) descende en el envase, ubicándose en la parte baja hasta el final del proceso.

El efecto del modelo de viscosidad utilizado tiene un efecto preponderante en la predicción de las **isotermas**, **y líneas de corriente** calculadas dentro y fuera del envase rectangular.

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009

Bibliografía

- [1] PATANKAR, Suhas V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Washington: Hemisphere, 1980. 197 p.
- [2] CHRISTIANSEN, E. B., CRAIG, S. E. Heat transfer to pseudoplastic fluids in laminar flow. *American Institute of Chemical Engineers*. 8: 154-160, 1962.
- [3] MAY, N. Guidelines for performing heat penetration trials for establishing thermal processes in batch report systems. *The Campden and Chorleywood Food Research Association*. 16. 1997. 294 p.
- [4] WILBUR, A. Unit operation for the food industries. Ohio: Ohio State University. 1995. 182 p.
- [5] DATTA, A. K., TEIXEIRA, A.A., MANSON, J. E. Computer based report control logic for on-line correction process derivative. *Journal of Food Science*. 5. 1986.
- [6] AKTERIAN, S. G. Numerical simulation of unsteady heat conduction in arbitrary shaped canned foods during sterilization processes. *Journal of Food Engineering*. 1994, vol. 21, no. 3.
- [7] DATTA, A. K., TEIXEIRA, A. A. Numerically predicted transient temperature and velocity profiles during natural convection heating of canned liquid foods. *Journal of Food Science*. 53 (1): 191-195, 1988.
- [8] KUMAR, A., BHATTACHARYA, M. Transient temperature and velocity profiles in a canned non-Newtonian liquid food during sterilization in a still - cook retort. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 34 (4-5): 1083-1096, 1991.
- [9] GHANI, A. G., MOHAMMED, M. F., CHEN, X. D. A CFD simulation of the coldest point during sterilization of canned food. En: *The Australian Chemical Engineering Conference*. (26^o: Septiembre 1998: Port Douglas, Australia). 1998. pp. 28-30.

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009



Propiedades del CMC y Recipiente de acero galvanizado

| Propiedad | Valor | Unidad |
|--|-----------------------|-------------------|
| Densidad ρ | 950 | kg/m ³ |
| Calor específico Cp | 4100 | J/kg K |
| Conductividad térmica k | 0.7 | W/m K |
| Coefficiente de expansión volumétrica β | 0.0002 | 1/K |
| Índice de potencia n | 0.57 | - |
| Índice de consistencia η_b | 0.02232 | Pa s ⁿ |
| Energía de activación ΔE | 30.74*10 ³ | kJ/kg mol |
| Viscosidad aparente de referencia η_{ref} | 13.57 | Pa s |

| Propiedad | Valor | Unidad |
|---------------------------|-------|-------------------|
| Densidad ρ | 7833 | kg/m ³ |
| Calor específico Cp | 502 | J/kg K |
| Conductividad térmica k | 58 | W/m K |

XVII Congreso Chileno de Ingeniería Química / 25-28 X-2009