

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF HEAT TRANSFER AND FLUID FLOW IN ICE POP PRODUCTION: FORCED-AIR WARMING FOR THE UNMOLDING PROCESS

PROBLEMA

En una planta ecuatoriana de productos lácteos, el proceso de desmoldeo de paletas con agua genera un uso excesivo del recurso, residuos viscosos y defectos en la extracción, como paletas rotas o incompletas. Esto compromete la calidad final del producto y reduce la eficiencia general del sistema de producción.

OBJETIVO GENERAL

Optimizar el diseño térmico del proceso de desmoldeo de para dos tipos de paletas utilizando Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) y simulaciones de transferencia de calor conjugada

PROPUESTA

Análisis computacional de la dinámica de fluidos y la transferencia de calor para el proceso de desmoldeo de las paletas por agua y aire forzado. Todas las mediciones se realizaron a una temperatura ambiente de $14 \pm 1^\circ\text{C}$. Un chorro de agua a 20°C con una velocidad inicial de $0,343\text{ m/s}$ impacta sobre la superficie durante 6 segundos. Los valores promedio de las propiedades del flujo se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Mediciones experimentales de temperatura y caudal en la ducha de desmoldeo		
Parámetro	Helado PO	Helado MY
T_a	14°C	14°C
T_i	20°C	20°C
T_o	18.1°C	18°C
T_{1s}	-28°C	-25°C
T_{0c}	-1.8°C	-0.7°C
T_f	-8°C	-4°C
T_{1c}	-16.7°C	-12°C
T_{2c}	-9.7°C	-9.1°C
Q	$2.73 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$	$1.08 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$
Q_i	$0.0142 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$	$0.0169 \times 10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$

RESULTADOS

- La temperatura promedio en $Z = -11,3\text{ mm}$ es de $-9,6^\circ\text{C}$.
- Se reemplaza el agua por aire.

Configuraciones óptimas que permiten alcanzar la temperatura objetivo de la paleta en la ubicación de control:

- Temperaturas del aire caliente entre 40°C y 110°C .
- Velocidades del chorro entre $1,15$ y $7,2\text{ m/s}$.
- Números de Reynolds entre 285 y 2536 .
- Números de Prandtl entre $0,71$ y $0,73$.

CONCLUSIONES

- El proceso de extracción de paletas en una planta de producción presenta inconvenientes de calidad, ya que frecuentemente se generan daños en el producto al momento del desmoldeo. Este estudio consiguió mejorar dicho proceso mediante el uso de agua y aire forzado para calentar los moldes de las paletas.
- El estudio computacional del proceso de dinámica de fluidos y transferencia de calor de una corriente de chorro de aire caliente permite predecir escenarios óptimos de funcionamiento.

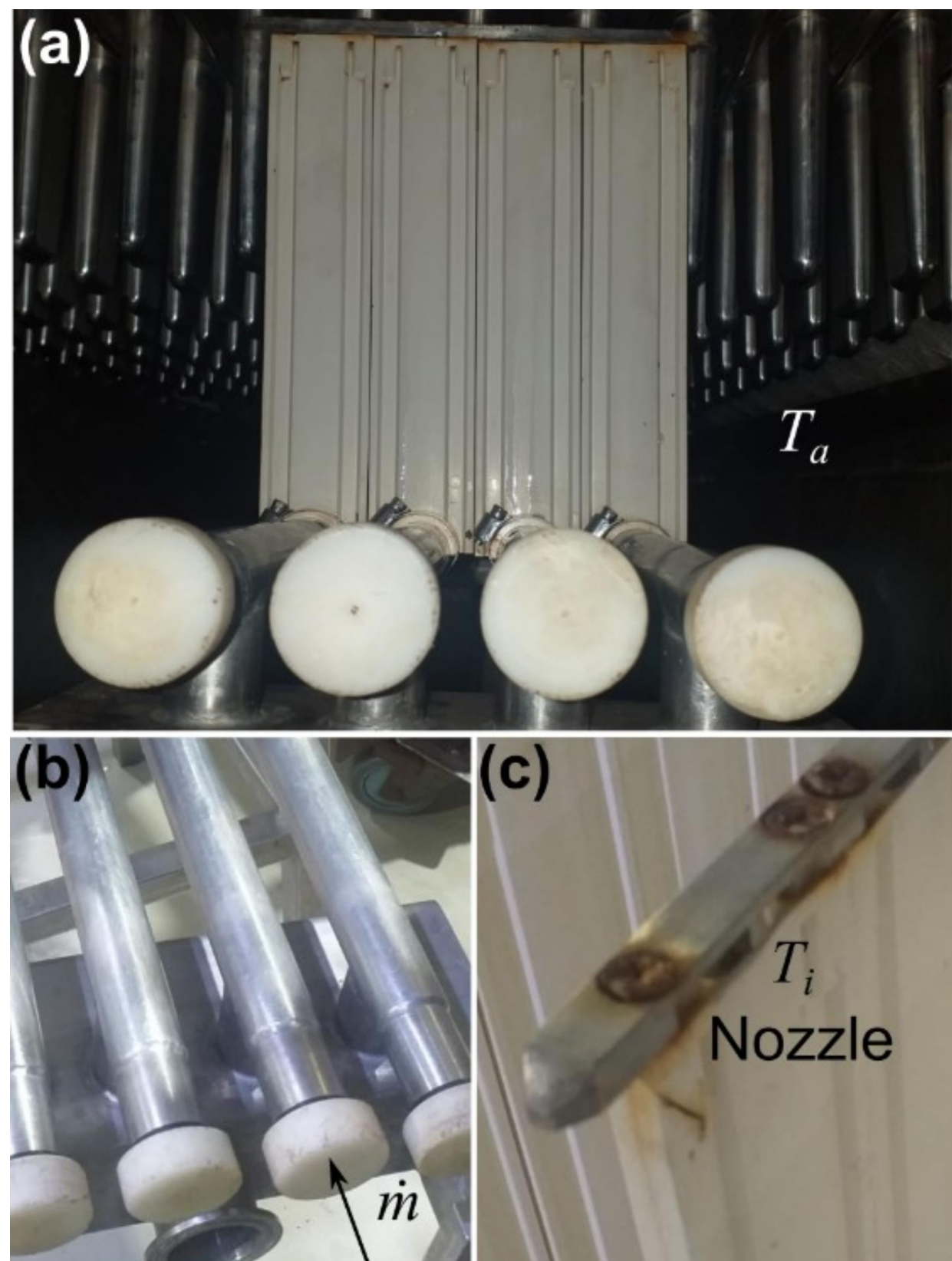


Fig. 1. Cabina de desmoldeo. (a) Cabina. (b) Entrada de fluido caliente. (c) Boquilla de aspersión

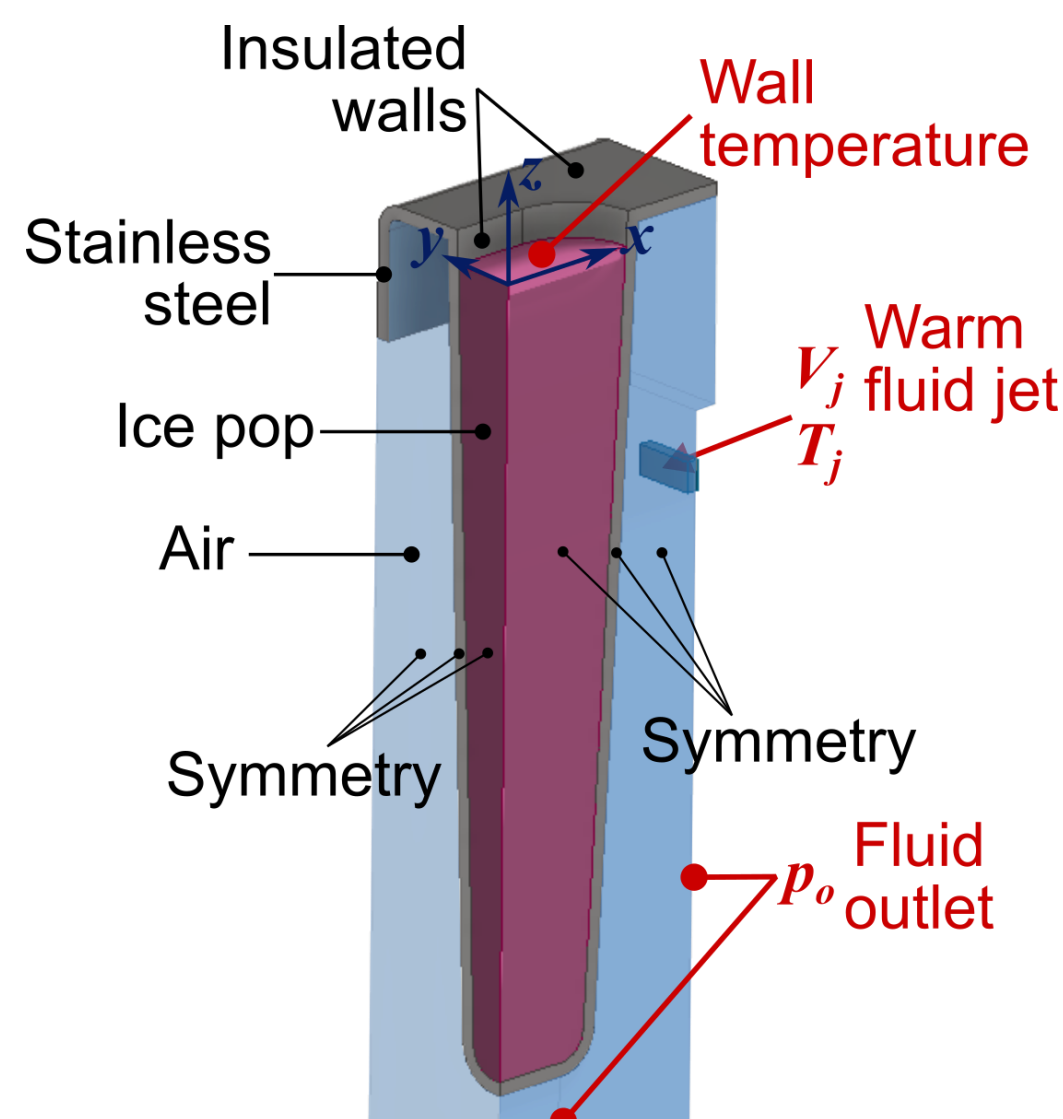


Fig. 2. Dominio computacional y condiciones de frontera

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_j} [u_j (\rho E + p)] &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[u_j \tau_{ij} + \left(\lambda + \frac{C_p \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} \right] + S_h \\ \rho \frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \\ \rho \frac{\partial}{\partial x_i} (\omega u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \end{aligned}$$

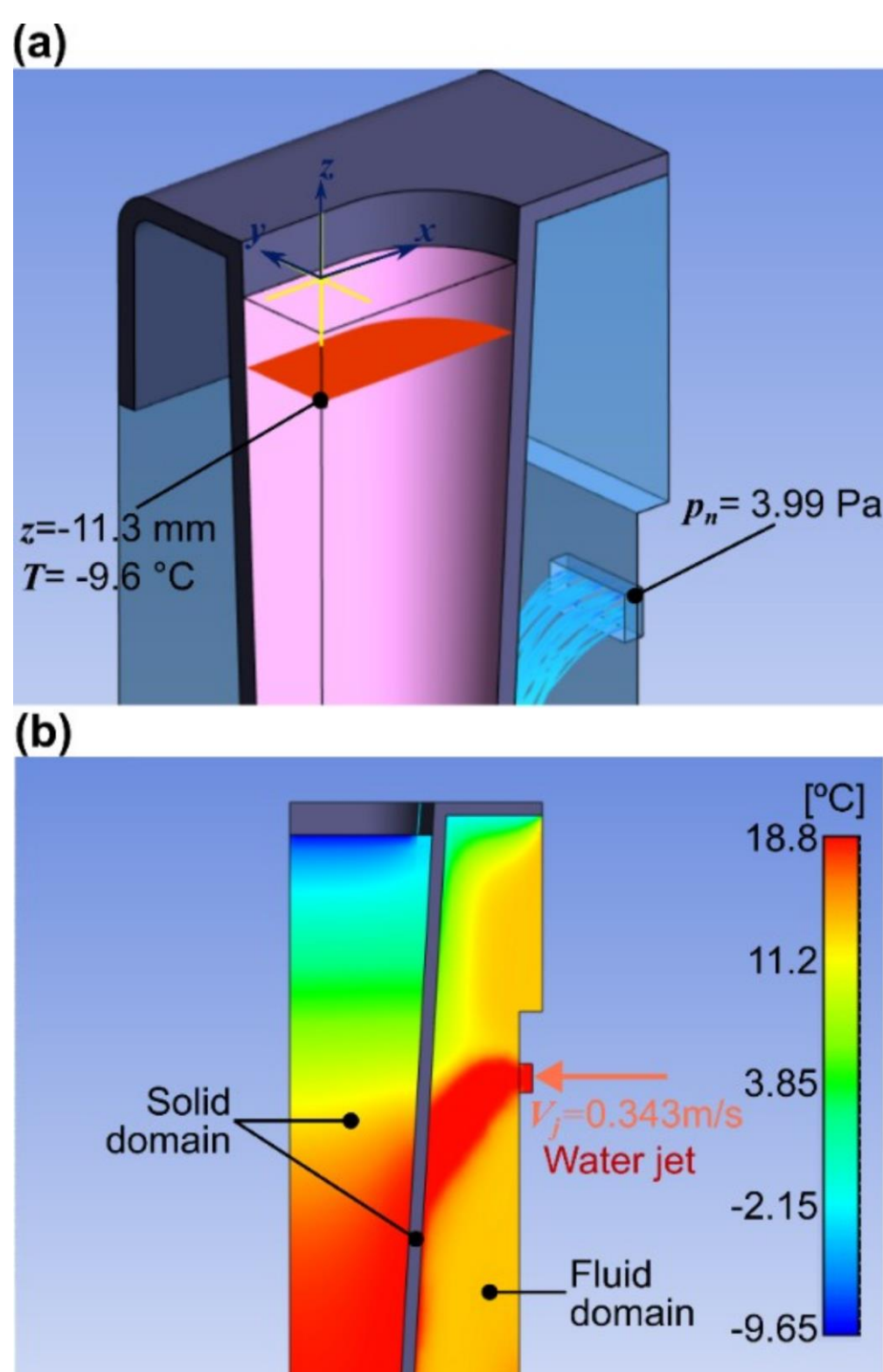


Fig. 3. Distribución de temperatura para la paleta por inyección de chorro de agua

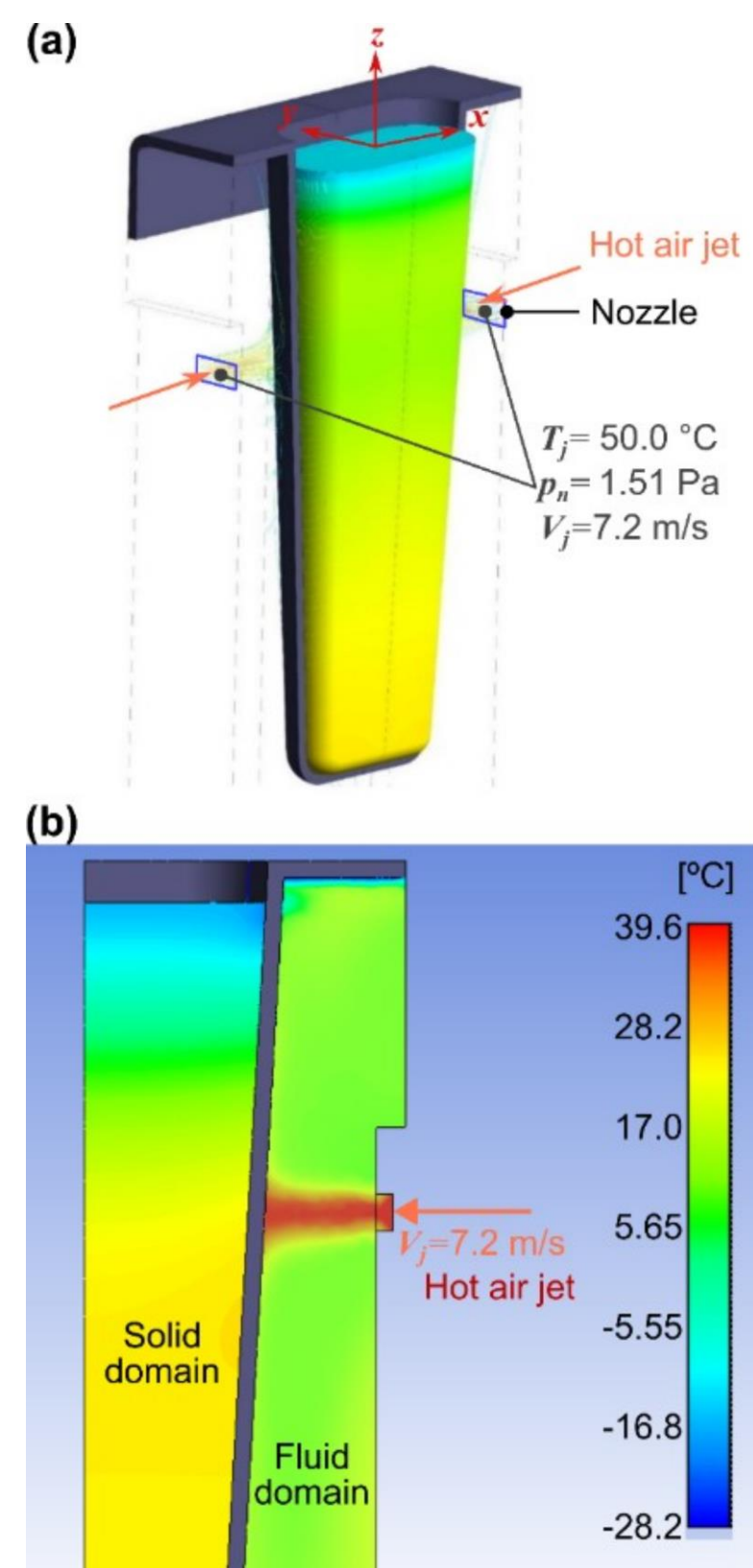


Fig. 4. (a) Distribución de temperatura de la paleta. (b) Campo de temperatura en el campo XZ