

**TRABAJO PRÁCTICO N°3 ALMACENAMIENTO REFRIGERADO**

1. En una cámara frigorífica destinada al almacenamiento de vegetales, se introduce un lote de 2000 kg de brócoli a una temperatura inicial de 15 °C, el cual debe enfriarse hasta 5 °C. El calor específico medio del producto es de 3,6 kJ/kg·°C, y el proceso de enfriamiento se realiza en un período de 10 horas. Una vez alcanzada la temperatura de almacenamiento (5 °C), el brócoli continúa generando calor debido a su actividad metabólica, con un valor de 63 W por tonelada.
- a) Calcular el calor total a extraer durante el enfriamiento del producto. Calcule la potencia de la etapa de enfriamiento.
- c) Determinar la carga de calor por respiración del lote.

2. Se desea usar una cámara frigorífica para el almacenamiento de arandanos, que debe operar a una temperatura interior de 2 °C, la temperatura del ambiente exterior es de 30 °C. Las paredes laterales tienen 12 m<sup>2</sup> de superficie y están formada por:

- Una estructura de hormigón de 0,15 m de espesor ( $k_p = 1,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ )
- Un material aislante ( $k_a = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ )

Los coeficientes de transferencia son:

- Interior:  $h_i = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Exterior:  $h_e = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Por requerimientos de diseño del sistema de refrigeración, se establece que el flujo de calor a través de la pared no debe superar los 150 W. Determinar el espesor mínimo del aislante que debe instalarse para la construcción de la cámara.

3. En una cámara frigorífica de 3 m de alto, 5 m de ancho y 4 m de largo, se almacenan 2,5 toneladas de uvas frescas recién cosechadas, que ingresan a una temperatura de 18 °C y deben enfriarse a 2°C. Las uvas se colocan en cajas plásticas que también se encuentran a 18 °C. Cada caja pesa 1,5 kg y contiene 6 kg de fruta. El coeficiente global de transferencia de calor de las paredes es 0,55 W/m<sup>2</sup>·°C; del material del techo; del material del piso 0,30 W/m<sup>2</sup>·°C. Durante la operación, trabajan dos operarios durante 1 hora por día, y el sistema de iluminación libera 50 W de energía al ambiente. El enfriamiento de la fruta y los envases se realiza en un tiempo de 12 horas.

Calcular la carga máxima de enfriamiento sabiendo:

Calor específico de la fruta en el rango de operación: 1,1 kJ/kg·°C

Calor específico del empaque en el rango de operación: 0,6 kJ/kg·°C

Calor de respiración: a 18 °C: 0,30 W/kg, a 2 °C: 0,020 W/kg

Temperatura exterior: 30 °C, Temperatura final de almacenamiento: 2 °C

Calor generado por cada operario: 230 W

4. Se desea determinar la carga máxima de refrigeración de una cámara destinada al almacenamiento de palta fresca. El producto ingresa a la cámara a una temperatura de 22 °C y debe ser enfriado hasta una temperatura de conservación de 8 °C. La capacidad de almacenamiento es de 70 toneladas de vegetal. Las paltas se acondicionan en cajas de cartón de 1 kg de peso, con una capacidad de 10 kg de producto por caja. El calor específico medio de la palta es de 3,3 kJ/kg·°C, mientras que el del empaque es de 0,45 kJ/kg·°C.

El tiempo requerido para el enfriamiento del producto y los envases es de 10 horas.

El calor de respiración promedio de la palta es de 2000 kcal/tn·día.

La cámara frigorífica tiene dimensiones de 12 m de largo, 9 m de ancho y 4 m de alto, y la temperatura exterior es de 29 °C.

Las paredes están construidas con ladrillo de 25 cm de espesor y aisladas con poliuretano de 15 cm. El piso está compuesto por hormigón de 15 cm y aislante de poliestireno de 15 cm, mientras que el techo está formado por hormigón de 10 cm y poliuretano de 18 cm.

Los datos de conductividades térmicas y los coeficientes de convección son:

- Ladrillo: 0,70 W/m·K
- Poliuretano: 0,026 W/m·K
- Poliestireno: 0,035 W/m·K
- Hormigón: 0,87 W/m·K
- $h_{\text{aire}8^{\circ}\text{C}} = 4,14 \text{ W/m}^2\text{C}$   $h_{\text{aire}29^{\circ}\text{C}} = 7,71 \text{ W/m}^2\text{C}$

Durante la operación, trabajan 2 operarios durante 2 horas diarias, generando cada uno 240 W. El sistema de iluminación genera 150 W de energía.

5. La empresa *AgroLogística S.R.L.* se dedica al almacenamiento de hortalizas frescas para su posterior distribución. En la última campaña, se detectaron problemas de enfriamiento no uniforme, lo que generó pérdidas de calidad y reducción de la vida útil del producto.

Para analizar la situación, se realizó un estudio de la distribución de temperatura dentro de la cámara frigorífica, adicionando pallets de base de diferentes alturas. Los resultados se muestran en la figura adjunta. En la misma se observa el comportamiento térmico del sistema para distintas alturas de estibaje (0,3 m; 0,6 m; 0,9 m), evidenciándose la aparición de zonas con mayor temperatura dentro del producto a medida que aumenta la altura de los pallets.

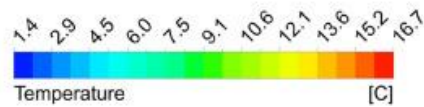
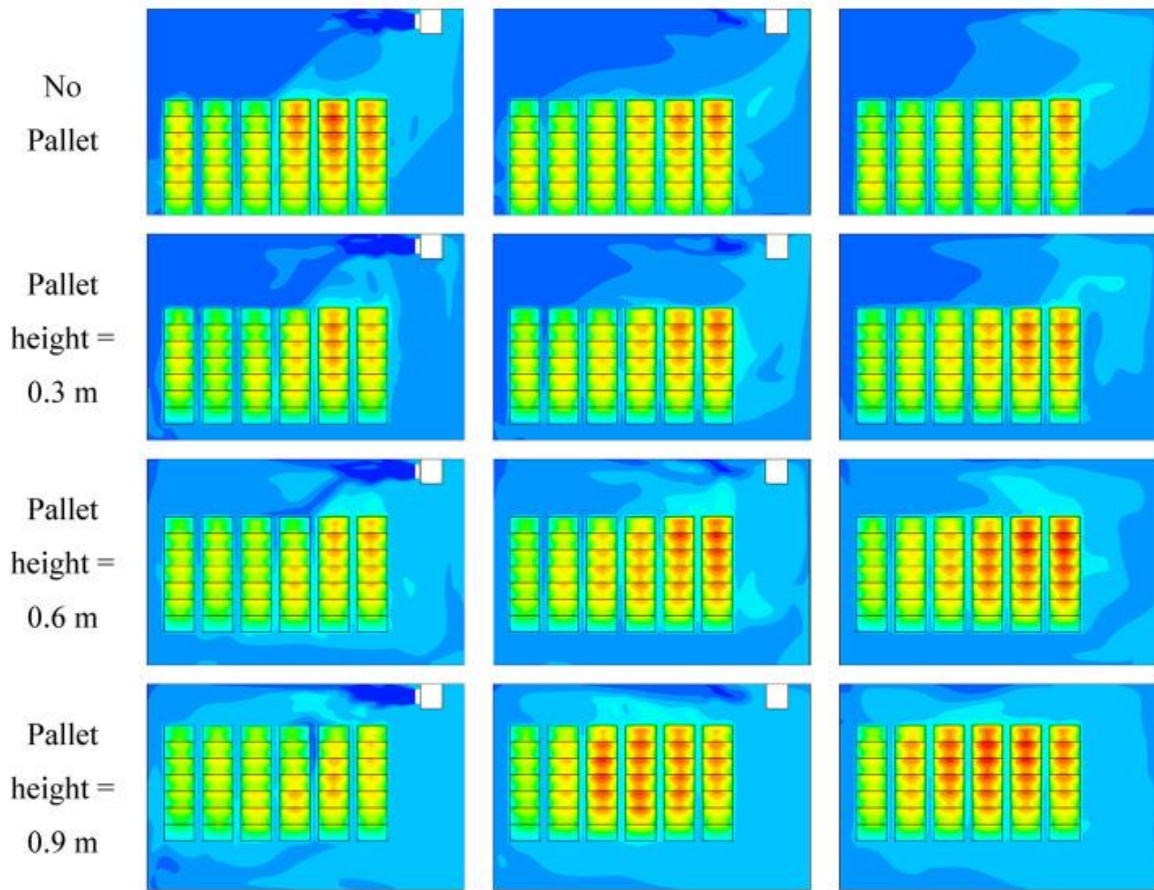
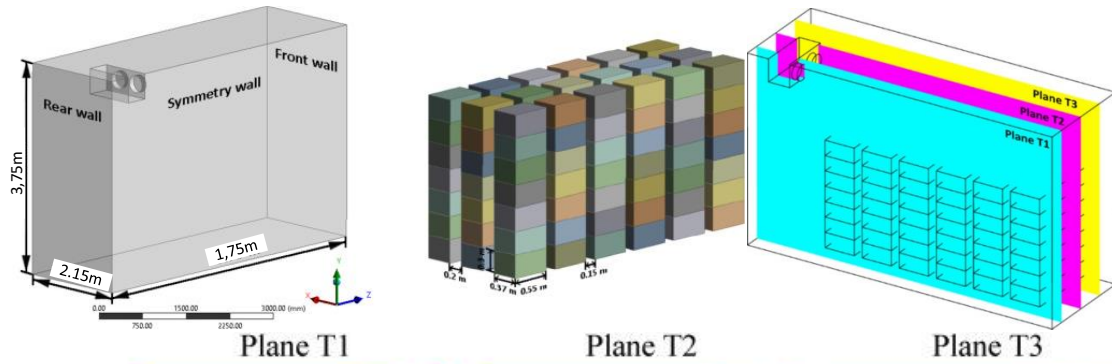
El sistema actual de almacenamiento esta basado en una disposición compacta.

Datos Técnicos de la Cámara:

- Cámara frigorífica: 5,75 m (largo) × 2,15 m (ancho) × 3,75 m (alto).
- Sistema de frío: Temperatura de operación: 2 °C; Velocidad del aire: 1,5 m/s.
- Configuración actual: Estiba compacta de 6 columnas de largo (filas longitudinales) y 3 columnas de ancho (transversales). Cada columna alcanza una altura de 7 cajas, lo que totaliza 126 unidades de carga. Separación transversal de 0,20 m y separación longitudinal de 0,15 m.
- Datos de las cajas: 0,37 m de ancho, 0,55 m de largo y 0,30 m de alto. Peso: 7 kg.

Datos Adicionales de Capacidad y Calidad

- Capacidad de Almacenamiento: El sistema actual logra ubicar 126 cajas.
- Índice de Mermas (Pérdidas): Debido a los "puntos calientes" detectados en la gráfica, se estima que el 15% de la mercadería del centro de la estiba sufre deterioro prematuro y no puede ser comercializada.
- Costo de Energía: El sistema actual consume un 20% más de energía debido a que los forzadores trabajan a máxima potencia para intentar (sin éxito) enfriar el núcleo.
- Vida Útil: Con una temperatura uniforme de 2 °C, el vegetal dura 20 días. En las zonas rojas (16 °C), el vegetal comienza a degradarse a los 4 días.



Se pide

- a) Analizar la figura e identificar los principales problemas de distribución de temperatura asociados al estibaje actual.

- b) Explicar cómo la disposición de los pallets afecta la circulación del aire y la transferencia de calor.
- c) Diseñar una nueva configuración de estibaje.
- d) Comparar el sistema actual con el rediseñado en términos de:
  - Capacidad de almacenamiento (cantidad de pallets).
  - Eficiencia de estibaje (uniformidad de la temperatura).
  - Calidad final del producto (vida útil).