

Un experimento basado en la realización de mediciones de la variación de temperatura en el interior del contenedor, utilizando el equipo de frío en los modos de funcionamiento continuo y discontinuo.

Análisis térmico de un contenedor de transporte internacional

J. RODRÍGUEZ-BERMEJO¹, J.I. ROBLA¹; P. BARREIRO², L. RUIZ² Y M.A. BEJARANO²

¹ Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC). Laboratorio de Tecnología de Sensores. jrodriguez@cenim.csic.es

² Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Laboratorio de Propiedades Físicas (LPF). pilar.barreiro@upm.es



En este trabajo, hemos realizado diversos ensayos con el objetivo de caracterizar un contenedor de transporte internacional reefer 20'. Los experimentos han consistido en realizar mediciones de la variación de temperatura en el interior del contenedor, utilizando el equipo de frío en los modos de funcionamiento en continuo y discontinuo. Además, hemos caracterizado nuestro contenedor con el equipo de refrigeración desconectado. Para ello se ha instalado una malla de sondas de temperatura Pt100 en las paredes y techo del contenedor.

Contenedor de transporte internacional y equipo de refrigeración.

Contenedor de transporte internacional es fundamental para asegurar la calidad de productos de alto valor añadido como son las frutas y hortalizas. Los productos hortofrutícolas mantienen su actividad fisiológica a lo largo de la cadena de distribución. Los frutos respiran consumiendo oxígeno y azúcares, liberan CO₂, vapor de agua y calor. Además, transpiran con la consiguiente pérdida de peso y emiten determinados volátiles específicos como el etileno (Barreiro, 2005). Las temperaturas inadecuadas o la mala distribución de éstas pueden producir efectos perjudiciales en la carga, ocasionando la pérdida parcial o total de los productos. La temperatura óptima de conservación se sitúa al-

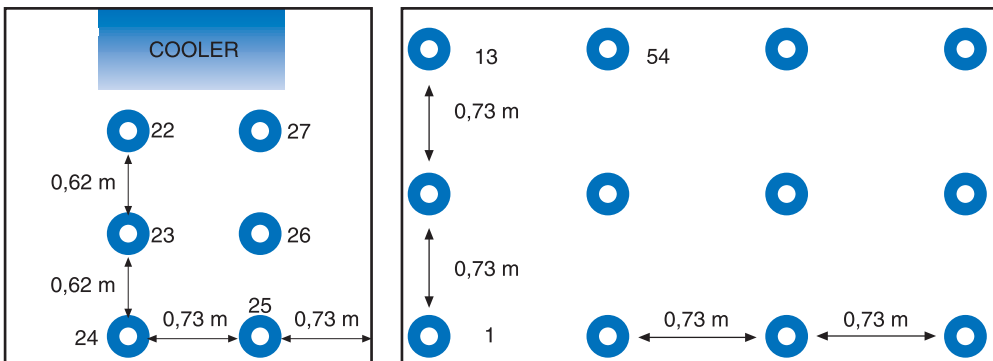
rededor de 0°C. Cuando la temperatura varía entre -1 y 1°C, pueden aparecer congelaciones. En algunos casos, cuando la temperatura es superior a 2-3°C se favorece la aparición de desórdenes como el pardeamiento interno o el bitter pit.

Cuanto menor es la temperatura, la actividad metabólica y la tasa de respiración de los productos agrícolas es menor. Al disminuir estos parámetros, la emisión de gases también desciende evitándose la rápida maduración del producto. En la actualidad, existen tres tipos de contenedores de acuerdo con sus características térmicas: isotermos, refrigerantes y frigoríficos. Los isotermos están formados por paredes aislantes

Introducción

La consecución de una temperatura homogénea en un conte-

Figura 1:
Esquema de sondas.



que el limitan el intercambio de calor. En los contenedores refrigerantes se emplea una fuente de frío, mientras que en los contenedores frigoríficos se dispone de un equipo de frío que permite controlar la temperatura de los productos durante el transporte (Barreiro, 2005).

Los equipos de refrigeración suelen disponer de un único sensor de temperatura tipo Pt100 ó PTC y pueden trabajar en dos modos distintos: continuo y discontinuo. Cuando un equipo de refrigeración trabaja en modo continuo el funcionamiento es ininterrumpido. Esto quiere decir que incluso cuando ya se ha alcanzado la temperatura de consigna (set-point), los ventiladores siguen funcionando. Por el contrario, en funcionamiento discontinuo, cuando la temperatura registrada por la sonda del equipo es

inferior a la de consigna, el motor eléctrico se apaga automáticamente y por ende, los motores ventiladores y la generación de aire frío. En el momento en que la temperatura interna supera el valor de consigna, el motor eléctrico inicia de nuevo la secuencia de arranque.

El aire se reparte primero por aquellas zonas libres de obstáculos, es decir los canales existentes entre las paredes del contenedor y los palets de transporte, así como en los espacios libres entre el suelo y las bases paletizables. En estas zonas, la velocidad del aire es muy superior a la del aire en el interior de los palets. Un incorrecto estibado causa enormes problemas en los transportes debido al irregular patrón de reparto de aire. Los productos más próximos a la pared del palet adquieren una temperatura menor que los frutos

Esquema de sondas en el techo (izquierda) y en la pared del fondo de zona frío (derecha).

que están situados en el interior del palet pudiendo existir gradientes de temperatura muy significativos a lo largo de la carga.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es realizar la caracterización térmica de un contenedor de transporte internacional y estudiar la estratificación de temperaturas del compartimento interior. Los ensayos se han realizado durante el verano de 2004 y en el invierno y primavera de 2005, utilizando ambos modos de funcionamiento: continuo y discontinuo, así como con el equipo de refrigeración desconectado.

Materiales y Métodos

Todos los experimentos se han llevado a cabo en un contenedor de transporte internacional situado en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC). Este contenedor tiene unas dimensiones exteriores de 6058 x 2438 x 2591 e interiores de 5804 x 2184 x 2270 y comercialmente se conoce como un contenedor de 20 pies o reefer 20'. Interiormente, está dividido en dos zonas por un tabique de material aislante. Todos los ensayos se han realizado en el compartimento interior, de dimensiones 2620 x 2184 x 2270.

La salida de aire frío está ubicada en el techo de dicho compartimento. El equipo de refrige-

Manómetros automáticos Murphy®

Más de sesenta años de experiencia en automatismos robustos para el control de motores y circuitos. El manómetro diferencial de presión controla la presión diferencial entre dos puntos y el manómetro presostato la presión máxima y mínima en un punto.

Con la garantía y seriedad de:
Copersa

Apartado de Correos, 140. 08340 - Vilassar de Mar (Barcelona). Tel: 902 10 33 55 * Fax: 937 59 50 06 * E-mail: riegos@copersa.com * Web: www.copersa.com



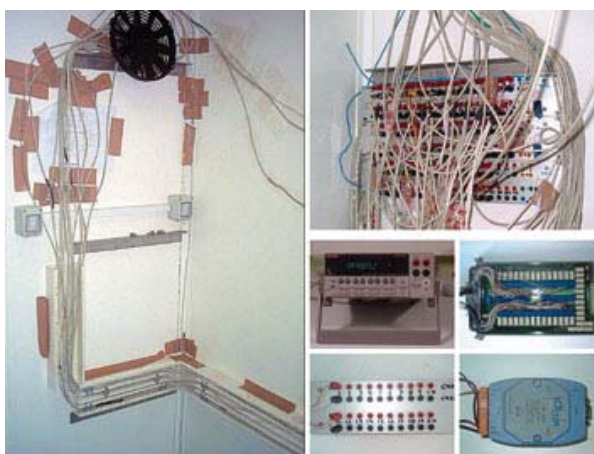
murphy

ración se controla manualmente mediante una pantalla digital situada en la parte trasera del contenedor, junto al motor. Este equipo proporciona un caudal de aire de 2200 m³/h; su potencia a -20°C es de 3825 W y a 0°C, 6765 W. Está equipado con dos motores: el motor eléctrico tiene una potencia de 4,8 kW (a 50 Hz) y el motor diesel consta de tres cilindros de 719 cm³. El compresor presenta dos cilindros de 200 cm³.

Medida de temperatura

Para realizar la caracterización térmica del compartimento interior del contenedor (zona frío) se han instalado 54 sondas de temperatura (Pt100). Estos sensores han sido distribuidos por las paredes y techo del compartimento de la siguiente forma: 21 sondas en las dos paredes laterales, 6 sondas en el techo y 6 sondas en la pared del fondo del compartimento. Las siguientes figuras muestran los esquemas de la zona frío y la ubicación de las sondas. Todos los sensores de temperatura se han conectado a dos multímetros equipados con tres tarjetas multiplexoras que están compuestas por relés electromecánicos. Cada par de relés forma un canal de comunicación. Al relé designado con la letra "H" (high) se conecta el hilo positivo del sensor y al relé designado con la letra "L" (low) se conecta el neutro. Ambos multiplexores se conectaron a un módulo de adquisición de datos a través de dos puertos RS-232. El módulo es invisible a efectos de medida y transmisión de datos pero permite convertir el protocolo RS-232 en Ethernet y viceversa. Gracias a estos módulos, es posible transmitir los datos recogidos mediante RS-232 a través de una red de área local (LAN). Las figuras 2 y 3 muestran la distribución de las sondas Pt100 en el interior de la zona frío, la conexión de las sondas a las tarjetas multiplexoras, los multímetros y el módulo de adquisición de datos.

Una vez conectadas las sondas Pt100 y los equipos de medida se realizaron pruebas de comu-



Canalización y conexión de sondas Pt100 en el interior de la zona de frío. Multímetro tarjeta multiplexora, regleta de conexión y módulo Ethernet-RS-232.

nicaciones entre los equipos de medida y los ordenadores encargados de almacenar los datos. Todos los valores de temperatura se recogen a través de una aplicación desarrollada en el Laboratorio de Tecnología de Sensores (CENIM-CSIC), mediante el programa informático TestPoint v5. Esta aplicación permite guardar en un archivo el valor de temperatura y el instante correspondiente en el que fue registrado (en horas) desde que se inició el ensayo. Una vez comprobado el correcto funcionamiento de los equipos se procedió al planteamiento de los ensayos.

Planificación de los ensayos

Durante el verano de 2004 se realizaron experimentos con el equipo de frío trabajando en modo continuo y discontinuo, a una temperatura de consigna de 6°C. Posteriormente se realizaron ensayos con el equipo de refrigeración desconectado. En el invierno de 2005 se han realizado experimentos muy similares a los anteriores. Estos ensayos han consistido en caracterizar la zona frío con el equipo de refrigeración desco-

nectado, en modo continuo y en modo discontinuo. Las temperaturas de consigna han sido inferiores a 6°C debido al intenso frío del invierno. En estos ensayos se instalaron tres sondas más de temperatura. Dos se colocaron en el techo del contenedor correspondiendo sus posiciones con las sondas nº 21 y 28. La tercera se situó en el centro geométrico del interior de la zona frío. La última tanda de ensayos se ha realizado en los meses de primavera del presente año, siguiendo las mismas pautas que las descritas anteriormente.

Resultados y discusión

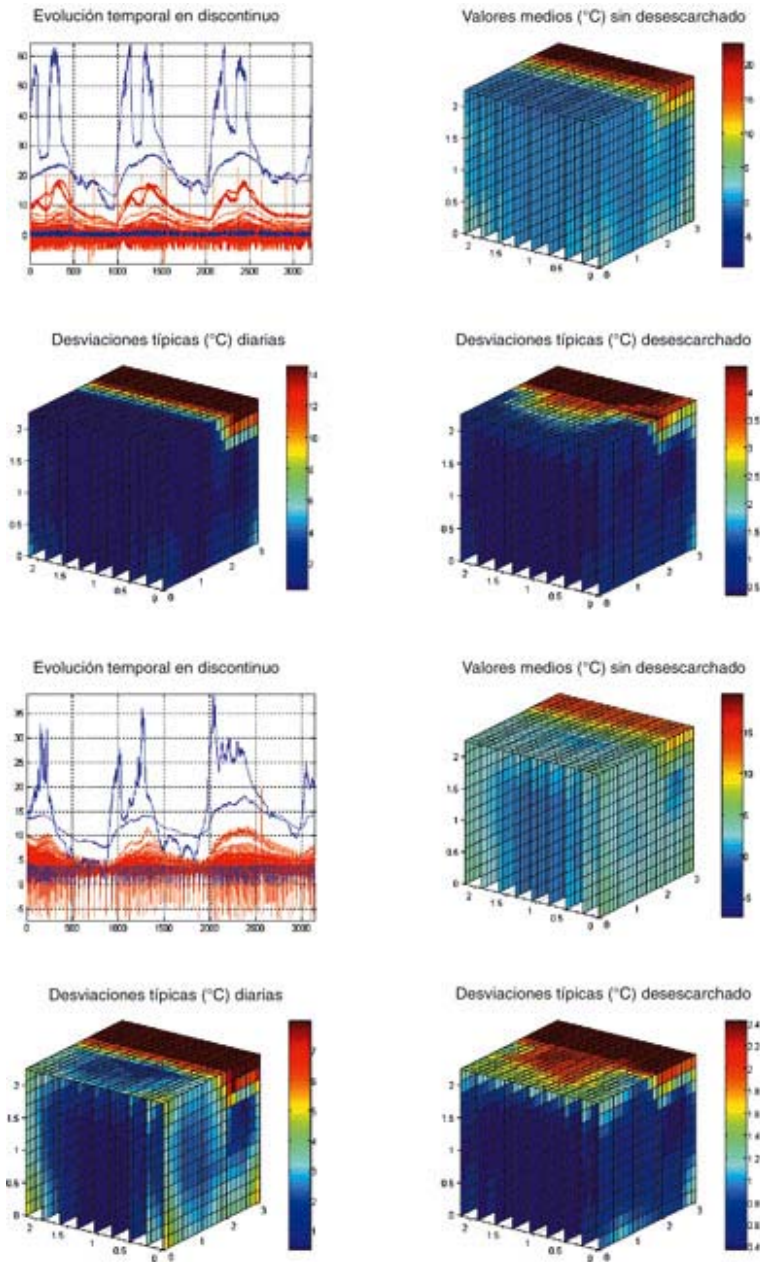
Los datos recogidos en los distintos experimentos se han analizado utilizando una serie de programas elaborados ad hoc con MATLAB. Mediante dichos programas, conseguimos visualizar la dinámica de temperaturas durante todo el experimento así como la variación de las temperaturas en una representación tridimensional del contenedor, empleando para ello varios métodos de interpolación. Para exponer nuestros resultados, hemos elegido los ensayos en modo continuo y discontinuo a una temperatura de consigna de 0°C, realizados en la primavera de 2005.

La Figura 4 ofrece una representación de la evolución temporal y de la distribución espacial en los dos ensayos. En las evoluciones temporales ya se manifiesta la diferencia entre ambos sistemas de gestión del equipo de frío: continuo y discontinuo.

En los gráficos de la Figura 4 aparecen reflejados los datos de temperatura ambiente (azul) y los relativos a las sondas del interior del contenedor (rojo). De las sondas ambiente, una se ha situado en el techo y por tanto se ve afectada por los periodos de radiación solar directa, mientras que la segunda se ha colocado a la sombra siendo mucho más estable su evolución diaria. Por otra parte la forma del contenedor no es cúbica sino que dispone de un alojamiento para el equipo de frío en la par-

■ Existe un efecto muy significativo del sistema de gestión de frío sobre la variabilidad espacial diaria de las temperaturas en los contenedores

Figura 1:
Comparación de ensayos en continuo y discontinuo.



La evolución temporal refiere a las temperaturas exteriores (azul) y las interiores (rojo).

te superior al fondo, y de ahí que las temperaturas se igualen a las del ambiente en esa zona en las representaciones tridimensionales (ver área roja).

Las diferencias térmicas entre sistemas de gestión se ven magnificadas cuando se representan las desviaciones típicas diarias a nivel espacial. Tal y como es previsible las zonas próximas a

las paredes del contenedor se ven sometidas a ciclos de enfriamiento calentamiento muy singulares que redundan en un incremento muy significativo de la variabilidad de la temperatura diariamente en los ensayos en discontinuo. Por otra parte el efecto del desescarchado sobre la variabilidad de temperatura es máximo en las zonas más próximas al equipo de

frío, viéndose nuevamente magnificado a nivel espacial cuando se emplea un sistema de gestión de frío discontinuo.

Conclusiones

- Existe un efecto muy significativo del sistema de gestión de frío sobre la variabilidad espacial diaria de las temperaturas en los contenedores.

- Los picos de temperatura producidos durante la fase de desescarchado no se traducen en variaciones apreciables de las temperaturas medias globales, aunque el sistema de gestión del equipo de frío afecta al tamaño del área afectada por los incrementos de temperatura en el desescarchado, siendo ésta mayor en los ensayos discontinuos.

- El empleo sistemático de la herramienta de análisis térmico desarrollada se empleará en el futuro para mejorar la estrategias de control de frío.

Agradecimientos

Este trabajo se encuadra dentro del proyecto Sensofrigo, financiado por la Comunidad Autónoma de Madrid.

Bibliografía

- Barreiro P., Robla J.I. 2004. Transporte frigorífico internacional de fruta, intermodalidad y sistemas de transporte inteligente. *Fructicultura Profesional*, nº 144:53-58
- Barreiro P., Robla J.I., José Rodríguez-Bermejo, Luis Ruiz, M. Ruiz-Altisent. 2005. Desarrollo de sistemas para la supervisión multidistribuida de la carga en transportes frigoríficos intermodales. *Fructicultura Profesional*, nº 149:44-51.
- Barreiro P., Fabero J.C., Cassasus P.L., Calles M., Bielza C., Correa E.C., Alonso R., Ruiz-Altisent M. 2003. Lattice Gas and Lattice Boltzmann for spatio-temporal simulations of gases in fruit storage chambers. *ACTA HORT.* (ISHS) 599:413-419.
- http://europe.eu.int/comm/off/white/index_es.htm
- Tanner D.J. and Amos N.D. 2003. Temperature variability during shipment of fresh produce. *ACTA HORT.* (ISHS) 599:193-203.