

En 2003 se produjeron 1.322 millones de toneladas de frutas y hortalizas; el 17% se destinaron a comercio internacional. Cada día se transportan miles de toneladas de productos hortofrutícolas en todo el mundo.

Transporte intermodal de productos hortofrutícolas

■ JOSÉ RODRÍGUEZ-BERMEJO¹,
PILAR BARREIRO², JOSÉ IGNACIO
ROBLA¹, LUÍS RUIZ-GARCÍA²

¹ Laboratorio de Tecnologías Avanzadas en Sensores (LTAS). Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM-CSIC)

² Laboratorio de Propiedades Físicas y Técnicas Avanzadas en Agroalimentación (LPF-TAG). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (ETSIA-UPM)



Según datos de la Agencia Estadística de la Organización para la Agricultura y Alimentación (FAO), FAOSTAT, en 2003 se produjeron 1.322 millones de toneladas de productos hortofrutícolas, de las que el 17% se destinaron a comercio internacional. Cada día se transportan y comercializan miles de toneladas de productos hortofrutícolas en todo el mundo.

Las Estadísticas del comercio internacional 2006, publicadas por la Organización Mundial del Comercio, recoge la lista de los

principales países/regiones exportadores e importadoras de productos agrícolas. La Unión Europea se sitúa como 1ª región importadora (48,5%) y exportadora (46,5%) del mundo, doblando a la región asiática, en 2ª posición.

El modo de transporte más empleado para el comercio intercontinental de este tipo de productos es el transporte marítimo (65% de la producción), dado su bajo coste. Según datos del Libro Blanco del Transporte Europeo, referidos por Barreiro y Robla (2004),

Mientras que 1 kg de petróleo permite desplazar 127 t de mercancía en vía marítima, por carretera o ferrocarril, sólo es posible transportar 50 y 97 t/kg de petróleo respectivamente.

un kilogramo de petróleo permite desplazar 127 t de mercancía en vía marítima o fluvial, mientras que, por carretera o ferrocarril sólo es posible transportar 50 y 97 t, por cada kilogramo de petróleo, respectivamente.

Control de calidad

El principal inconveniente del transporte marítimo radica en el elevado tiempo de permanencia del contenedor sobre la cubierta del buque. Por ejemplo, un cargamento de kiwis que zarpe desde Australia, teniendo como destino el puerto de Rotterdam, puede permanecer sobre la cubierta del carguero entre 40 y 45 días.

En la mayoría de las ocasiones, los productos hortofrutícolas son transportados en contenedores de transporte refrigerado o frigorífico, que pretenden procurar una temperatura homogénea en el interior de los contenedores para asegurar la calidad de los productos hortofrutícolas. Pero la temperatura a la que está sometida la carga en el interior de estos contenedores no es homogénea, existiendo gradientes térmicos que favorecen, por un lado, la rápida maduración de parte del producto y, por otro, la generación de daños por frío.

La rápida maduración y el daño por frío ocasionan la pérdida de gran parte de la carga, lo que supone una sustancial pérdida económica en los mercados. Según datos publicados por la FAO, las pérdidas poscosecha de cereales

alimenticios alcanzan el 25%. Las frutas, hortalizas, raíces y tubérculos son muy perecederos y las pérdidas se estiman alrededor del 50% de lo que se cultiva. El código internacional de prácticas para el envasado y transporte de frutas y hortalizas frescas (CAC/RCP 44-1995, EMD. 1-2004) recoge una serie de factores a considerar, a la hora de realizar transportes de productos hortofrutícolas.

Estos factores son el destino del producto, valor, grado en que son perecederos, cantidad de producto a transportar, temperatura y humedad relativa recomendadas, condiciones de temperatura exterior en origen y destino, duración del transporte y calidad del mismo.

El mantenimiento de una temperatura y humedad relativa adecuadas para cada tipo de producto es imprescindible para asegurar la calidad de la carga. Pero es muy difícil mantener de manera eficiente la temperatura recomendada y esto repercute directamente en la calidad del transporte, ya que si durante el transporte no es posible garantizar el mantenimiento de la temperatura recomendada, la calidad del producto se verá deteriorada.

Estado del arte

Entre 2006 y 2007, se han publicado cinco artículos científicos de revisión (James, Smale, Norton, Verboven y Ruiz-García) relacionados con el transporte refrigerado de productos hortofrutícolas, que recogen más de 500 estudios. Esta prolificidad de artículos pone de manifiesto el enorme interés de la comunidad científica en conocer los mecanismos de enfriamiento y mantenimiento de temperaturas durante el transporte intercontinental de productos hortofrutícolas para asegurar una correcta refrigeración del producto fresco, así como de los niveles de calidad exigidos por los consumidores.

El trabajo de S.J. James y colaboradores presenta una revisión de todo el trabajo realizado en el ámbito de la conservación de productos biológicos, incluyendo la modelización térmica, crecimiento microbiano, diferentes modos de

transporte, modelización de transferencias de masa y calor durante la fase de transporte, así como otros parámetros importantes en el transporte de alimentos.

N.J. Smale y colaboradores han publicado un artículo que incluye una extensa revisión de la aplicación de herramientas basadas en la dinámica de fluidos computacional (CFD) y otros métodos numéricos de modelización para la predicción del comportamiento de la corriente de aire en el interior de contenedores de transporte y cámaras de conservación, camiones de distribución, así como expositores de productos refrigerados en centros comerciales.

Tomás Norton y Da-Wen Sun han presentado recientemente un artículo que proporciona una revisión del estado del arte de las herramientas CFD, sus ecuaciones fundamentales, así como las aplicaciones actuales en la industria agroalimentaria. En él se incluyen las principales características de los paquetes comerciales basados en CFD como Fluent, CFX y Phoenix, entre otros.

P. Verboven y colaboradores recogen los modelos matemáticos y aproximaciones numéricas desarrolladas para predecir los fenómenos de transporte de masa y energía que se producen en el interior de cajas perforadas, palotes y cajas de envasado a granel, utilizados para transportar productos agrícolas. Este artículo reflexiona sobre el comportamiento del flujo de aire y los intercambios de calor y masa desde el punto de vista del interior de la carga, considerándolo como un medio poroso.

El artículo publicado por L. Ruiz-García y colaboradores revisa las tecnologías inalámbricas más utilizadas en monitorización térmica de contenedores de transporte, junto con nuevas tecnologías emergentes (Bluetooth, Zigbee...) que, en el futuro, serán de referencia en el control de mercancías. El Cuadro 1 resume los objetivos y resultados más importantes de los artículos de revisión.

Caracterización experimental de contenedores

La caracterización de cámaras de almacenamiento y contenedores de transporte mediante la utilización de sensores montados in situ y sistemas de adquisición de datos es una técnica ampliamente extendida, de las que existen numerosísimos trabajos de investigación. Es posible diferenciar la caracterización experimental de cámaras y contenedores desde dos ámbitos: por un lado, caracterizar experimentalmente cámaras y contenedores partiendo de recintos a escala, construidos en laboratorio; por otro, caracterizar cámaras y contenedores de tamaño real, por ejemplo, contenedores tipo reefer.

Contenedores a escala

La revisión del estado del arte actual relacionado con el transporte refrigerado intercontinental de frutas y hortalizas en contenedores nos deja diversos trabajos de investigación en los que se emplean contenedores a escala, como sistema de experimentación y evaluación de los fenómenos que se producen en el interior de los contenedores durante el transporte. Las maquetas presentan numerosas ventajas como, por ejemplo, su versatilidad, coste muy bajo, facilidad de manejo y movilidad.

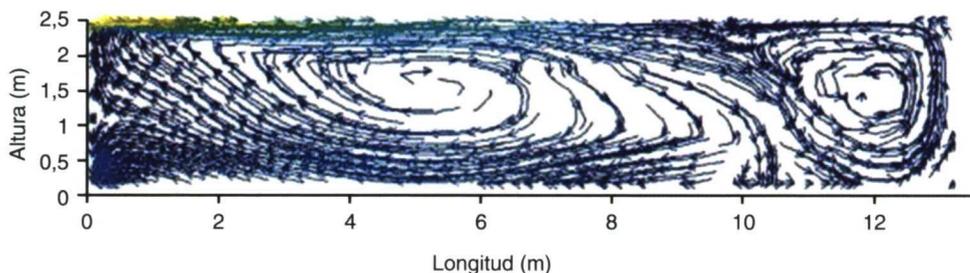
Como trabajos más relevantes, podemos citar los artículos elaborados por G. Álvarez y D. Flick, en 1999, encaminados a determinar la relación existente entre la velocidad del flujo de aire en el interior de cajas de transporte de productos y la distribución de temperaturas. Los autores elaboraron un estudio experimental aerodinámico y térmico empleando cajas

■ La reciente prolificidad de artículos sobre el tema pone de manifiesto el interés de la comunidad científica en conocer los mecanismos de enfriamiento y mantenimiento de temperaturas durante el transporte intercontinental de productos hortofrutícolas

Cuadro 1:**Resumen de los artículos de revisión.**

AÑO	AUTORES	
2006	S.J. James et al. [8]	Revisa del estado del arte específico en el ámbito de la conservación de productos: modelización térmica, de las transferencias de masa y calor durante la fase de transporte, crecimiento microbiano y modos de transporte.
2006	N.J. Smale et al. [10]	Refiere de herramientas basadas en dinámica de fluidos computacional (CFD) y otros métodos numéricos de modelización para su aplicación.
2006	Tomás Norton y Da-Wen Sun [11]	Revisa del estado del arte de las herramientas CFD, sus ecuaciones fundamentales, y aplicaciones actuales en la industria agroalimentaria. Principales características de Fluent, CFX y Phoenix
2006	P. Verboven et al. [12]	Evalúa distintos modelos matemáticos y aproximaciones numéricas para predecir fenómenos de transporte en el interior de cajas perforadas, palotes, cajas de envasado a granel, entre otros.
2007	L. Ruiz-García et al. [13]	Recoge de tecnologías más utilizadas en la monitorización térmica de contenedores y las nuevas tecnologías inalámbricas emergentes (Bluetooth, Zigbee...)

Fuente: elaboración propia.

Figura 1:**Líneas de corriente del flujo de aire obtenidas experimentalmente en maqueta a escala 1:3,3 (J. Moureh y D. Flick, 2004)**

reales de transporte de frutas, que rellenaron con esferas de tamaño similar a los frutos agrícolas. Observaron que el flujo de aire aplicado a una caja de transporte convencional tendía a redistribuirse en su interior siguiendo unas determinadas rutas de avance, favorecidas por la presencia de frutos.

En su avance, el flujo de aire adquiere un comportamiento heterogéneo y tiende a distribuirse por toda la anchura de la caja. Álvarez y Flick relacionaron el comportamiento térmico con el comportamiento aerodinámico, concluyendo que el coeficiente de transferencia de calor cambia principalmente en la dirección del flujo de aire, debido al comportamiento aerodinámico dentro de la

caja y que en aquellas zonas donde existen fenómenos de turbulencia, la temperatura del aire que rodea al producto es menor, dando lugar a una mejor refrigeración.

Posteriormente, en 2003 y 2007, los mismos autores han elaborado un modelo semi-empírico para predecir el flujo turbulento bidimensional y la evolución de la

temperatura entre los huecos existentes entre los productos agrícolas, a través de una maqueta que simula un medio poroso confinado constituido por esferas que simulan productos agrícolas. Nuevamente, los resultados demuestran que la temperatura es directamente proporcional a la velocidad del aire y a la turbulencia generada en el interior de la caja o del palet.

J. Moureh y D. Flick, publicaron dos artículos en 2004 y 2005, sobre un contenedor a escala 1:3,3 en el que se realizaron ensayos aerodinámicos mediante anemometría basada en el efecto Doppler para conocer los patrones de distribución del flujo de aire en su interior, tanto en carga como en vacío. Se obtuvieron unos patrones de comportamiento aerodinámico muy clarificadores.

Los autores demostraron que, cuando el flujo de aire entra en el interior del contenedor, tiende a adherirse al techo debido al efecto Coanda para después, separarse a una determinada distancia y dividirse en dos subflujos dominados por movimientos de vórtice en sentidos opuestos (ver Figura 1).

Posteriormente, caracterizaron el comportamiento del flujo de aire, en función de la posición de la entrada de éste al interior del contenedor. Colocaron la entrada

El mantenimiento de una temperatura y humedad relativa adecuadas para cada tipo de producto es imprescindible para asegurar la calidad de frutas y hortalizas durante su transporte

del aire hacia el contenedor en dos posiciones: central y lateral. Los resultados demostraron que la intensidad del efecto Coanda es mayor, cuando la entrada de aire está colocada en el lateral, impidiéndose la separación de la corriente de aire de las paredes y aumentando la homogeneidad de la ventilación, así como la uniformidad de la temperatura.

En 2005, Rodríguez-Bermejo presentó un trabajo de investigación sobre la caracterización experimental de un contenedor reefer 40' a escala 1:10, cargado con palets rellenos de esferas de agua, para simular la inercia térmica de los frutos. Las variables caracterizadas fueron temperatura interna, variación de humedad relativa y velocidad del flujo de aire.

Aleatoriamente, se colocaron una serie de resistencias eléctricas entre la carga, con el objetivo de generar calor y simular la respira-

■ El trabajo de Rodríguez-Bermejo sobre caracterización experimental de un contenedor reefer 40' a escala puso de manifiesto la existencia de flujos convectivos de calor que favorecen la aparición de gradientes térmicos dentro de los palets

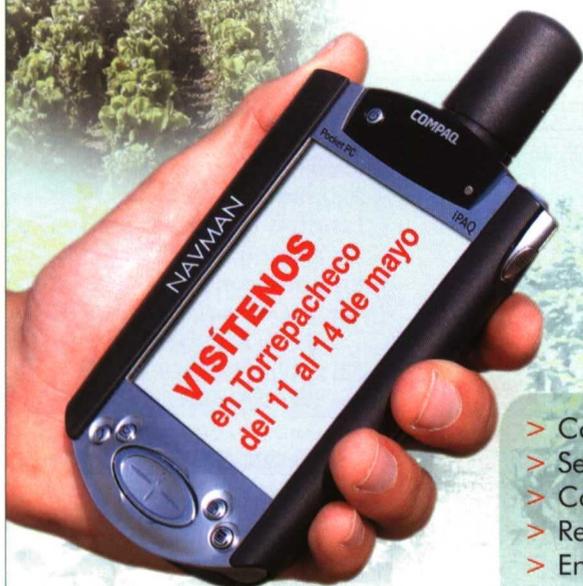
ción de los frutos. Los resultados pusieron de manifiesto la existencia de flujos convectivos de calor, que favorecen la aparición de gradientes térmicos en el interior de los palets. Además, quedó patente el efecto de estos gradientes sobre la variación de la humedad relativa. En las zonas donde las temperaturas son más elevadas, la pérdida de agua por evaporación aumenta.

De la misma forma que se ha mencionado anteriormente, existen grandes diferencias de velocidad en el interior de los contenedores. Las mayores velocidades de aire se registraron en el techo del contenedor (2-6 m/s, dependiendo de la proximidad al equipo de frío), mientras que la velocidad del aire en el interior de los palets fue prácticamente nula. En aquellas zonas donde la velocidad del aire es mayor, la temperatura es menor y viceversa, resultado que está en consonancia con lo descrito por G. Álvarez y D. Flick en 1999.

Contenedores reales

La caracterización experimental de contenedores reales presenta algunos inconvenientes con respecto al empleo de maquetas. El más importante es el coste económico de un contenedor real (alquiler o compra), al que hay que sumarle el coste de los sensores y equipos de adquisición de datos.

SAMARGEN : PROGRAMAS INFORMÁTICOS PARA LA GESTIÓN AGRARIA



- > Costes de producción por parcela, variedad, planta,...
- > Seguimiento técnico de cultivos : Trazabilidad, P.I, Eurep gap,...
- > Control de almacén: compras, consumos, stocks,
- > Recogida de datos en campo: Agri-Pocket,
- > Enlace: planos, contabilidad, facturación.



En la literatura existen varios artículos sobre caracterización experimental de contenedores reales.

Especial atención merece el trabajo publicado por Tanner y Amos (2001) en el que se realizó la caracterización de un contenedor de transporte reefer 40', durante el transporte de un cargamento real de kiwis desde Nueva Zelanda hasta Zeebrugge (Bélgica), bajo una temperatura de consigna de 0°C. Los resultados obtenidos (ver Figura 2) demostraron la existencia de gradientes térmicos de entre 7 y 9°C en la atmósfera del contenedor y de 4 a 6°C en el interior de los palets, existiendo zonas fuera de la especificación industrial (temperatura de consigna $\pm 0,5^\circ\text{C}$) durante más del 70% del trayecto.

Los gradientes térmicos en el interior de los palets produjeron daños por congelación en la carga situada en la parte baja de los mismos, debido a la acumulación de aire frío (más denso). Además, las zonas de mayor temperatura se localizaron en la parte opuesta a la situación del equipo de frío (parte trasera del contenedor), resultado éste acorde con lo descrito por J. Moureh y D. Flick (2004), en sus trabajos sobre la distribución de aire en una maqueta.

En 2004, J. Moureh y D. Flick extrapolaron los datos experimentales procedentes de la maqueta, a contenedores de dimensiones reales (13,3x2,5 m, tipo reefer 40'), obteniendo unos resultados muy similares a los mencionados en el epígrafe anterior.

Un año más tarde, demostraron que, al igual que en la maqueta cuando la salida de aire está situada en la zona central, el comportamiento del flujo de aire mostraba los mismos patrones observados en la anterior publicación. Sin embargo, cuando la salida está situada en la zona lateral, el efecto Coanda tenía más influencia en el comportamiento de la corriente de aire, mejorando la homogeneidad de la ventilación y la uniformidad de la temperatura interior.

En 2006, Rodríguez-Bermejo ha presentado un trabajo de inves-



tigación en el que se caracteriza experimentalmente un contenedor frigorífico reefer 20'. La caracterización térmica se ha realizado tanto interior como exteriormente y los resultados muestran la enorme heterogeneidad térmica que existe en el interior del contenedor, tanto en vacío como en carga. Estos gradientes térmicos, que pueden alcanzar diferencias de temperatura de entre 6 – 7°C, se deben a la dispersión del flujo de aire en el interior del contenedor, así como a los fenómenos de transmisión de calor desde el exterior hacia el interior, fundamentalmente en verano, donde las superficies del contenedor alcanzan temperaturas de 60°C.

Buque portacontenedores con contenedores en la cubierta.

Las fluctuaciones térmicas diarias afectan a la distribución de gradientes térmicos interiores. Al igual que Tanner y Amos (2001), las temperaturas en el interior del contenedor se mantienen fuera de las especificaciones de la industria durante el 50% de la duración del transporte. La Figura 3 muestra las dinámicas de temperatura y la distribución espacial de las temperaturas medias, en condiciones de funcionamiento modulado y discontinuo del equipo de frío.

Empleo de herramientas de modelización en contenedores

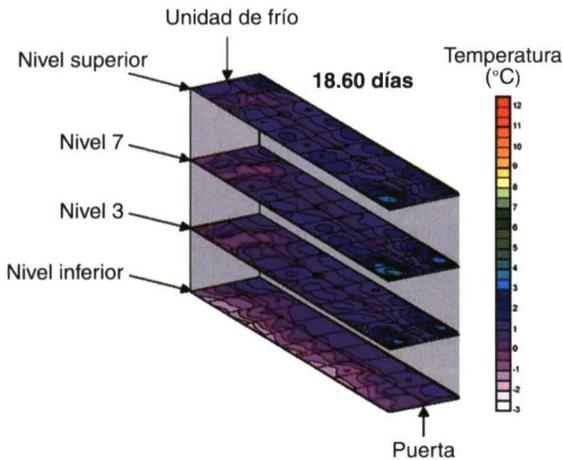
Métodos CFD

En la actualidad, las técnicas de resolución de modelos matemáticos basados en la dinámica de fluidos computacional (CFD – Computational Fluid Dynamics) representan una herramienta de simulación muy importante para la modelización de flujos de fluidos y de transferencias de calor y de masa. Gracias a la bajada de los costes de implantación, implementación y ejecución de los programas comerciales, se ha generalizado la utilización de las herra-

Las técnicas de resolución de modelos matemáticos basados en la dinámica de fluidos computacional (CFD) son una herramienta de simulación muy importante para la modelización de flujos de fluidos y de transferencias de calor y de masa

Figura 2:

Estratificación térmica en el interior de contenedor tipo reefer 40' durante el transporte de kiwis de Australia a Europa.



Adaptado de Tanner y Amos (2001)

mientas CFD en diversos sectores industriales como, por ejemplo, la industria agroalimentaria (Scott y Richardson, 1997).

Es muy habitual encontrar trabajos de investigación que aplican las técnicas CFD en el ámbito agrícola, para resolver modelos propuestos y contrastar los resultados con los datos experimentales. Nahor et al. (2005) elaboraron un modelo CFD tridimensional mediante el programa comercial CFX, para determinar la velocidad del flujo de aire, así como la transferencia de calor y masa, en el interior de una cámara de refrigeración de 43 m³ de volumen, tanto vacía como con 8 cajas apiladas.

En vacío, el patrón de circulación del flujo de aire fue similar a una espiral, en la que las velocidades más elevadas se registran en la periferia. Sin embargo, en la zona central de la espiral, el modelo proporciona la menor velo-

cidad de aire. En carga, una parte del flujo de aire logra atravesar los huecos existentes entre las cajas.

El resto del flujo recircula en el espacio comprendido entre las cajas y el equipo de refrigeración, observando además, una sobreestimación de la velocidad en el suelo entorno al 50% y una subestimación sobre las cajas situadas en la parte superior. La Figura 4 muestra los patrones de flujo obtenidos con el modelo CFD propuesto. La Figura 5 recoge la distribución del flujo de aire en el interior de contenedores refrigerados reales.

Métodos basados en modelos Lattice-Boltzmann

Los métodos basados en los modelos de Lattice-Boltzmann se consideran como una alternativa eficiente a las técnicas basadas en CFD. R.G.M. Van der Sman (1999) empleó un modelo de Lattice-Boltzmann para predecir la transferencia de calor y masa



Hydro PC,
*la excelencia en
goteros integrados*

Le presentamos el Hydro PC, gotero de última generación, autocompensante con opción antidrenante y ahora en tubería de 12 mm.

Su tecnología de vanguardia y los exigentes controles de calidad a los que es sometido, hacen de HydroPC el referente mundial en goteros integrados.

BRIGHT IRRIGATION
riego inteligente

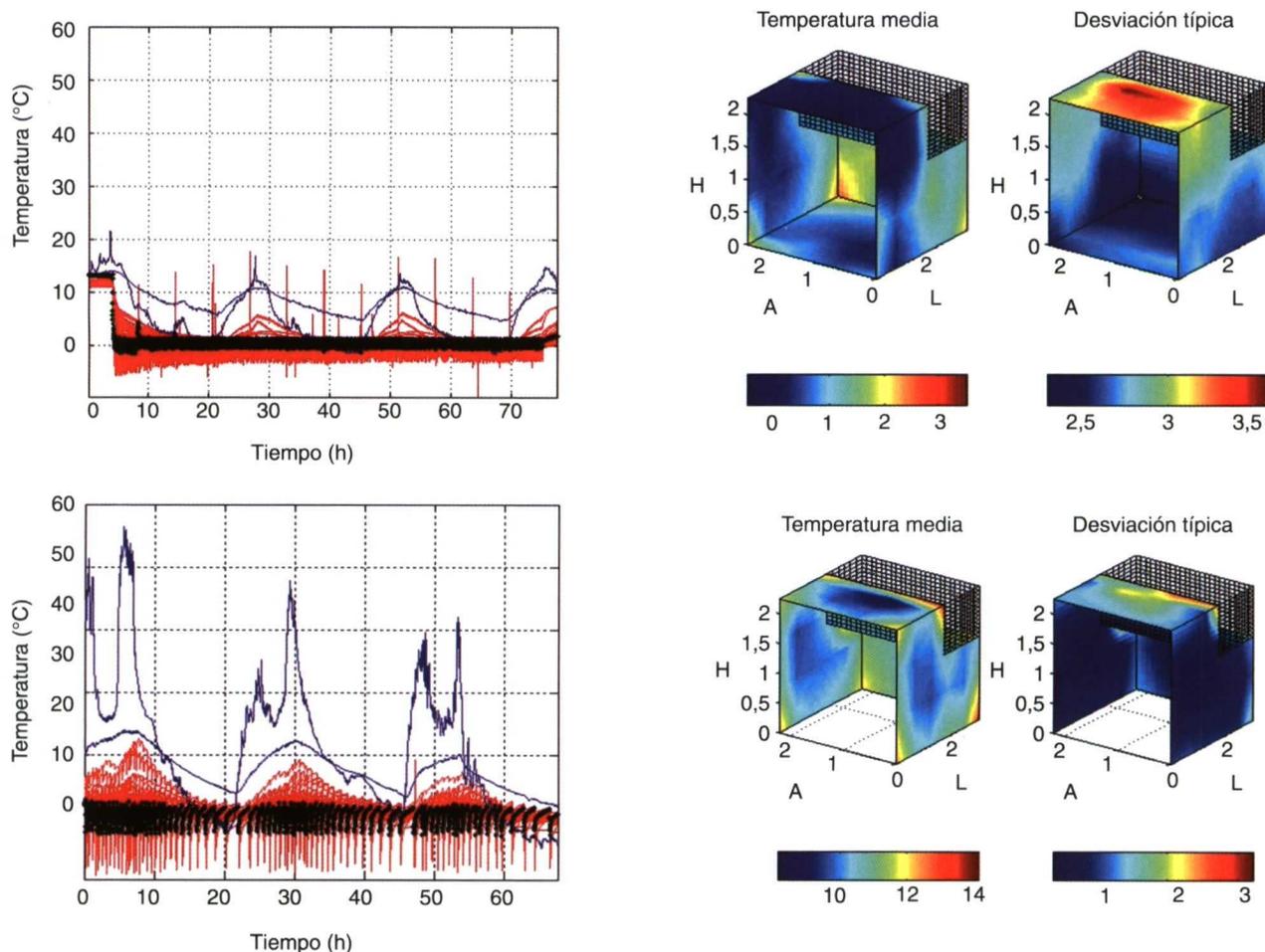


Pasaje de Arrahona, 8-10 • 08210 Barberá del Vallés • Barcelona • Spain
Tel.: (+34) 937 294 447 • Fax: (+34) 937 292 689
Delegaciones: Barcelona, La Mancha, Madrid, Sevilla y Valencia
plastroiberica@plastro.com.es • www.plastro.es

Figura 3:

Dinámica de temperaturas en modo modulado (izda. superior) y discontinuo (izda. inferior) y distribución 3D de temperaturas medias y desviaciones típicas (dcha.).

Temperatura de consigna 0°C. Las líneas azules indican las temperaturas exteriores. Las líneas rojas se refieren a las temperaturas interiores y la línea azul marca la evolución de las temperaturas en el centro geométrico del contenedor.



en un contenedor de semillas de patata, concluyendo que el modelo era válido tras compararlo con los resultados experimentales.

En 2000, Van der Sman desarrolló un modelo basado en el esquema Lattice-Boltzmann para simular la transferencia de masa y calor durante el enfriamiento de cajas de transporte de flor cortada. Este modelo también era capaz de simular las condiciones de refrigeración con bastante precisión, resultando ser una herramienta válida de simulación de los procesos físicos que ocurren en el interior de las cajas de productos hortofrutícolas.

Barreiro et al. (2003) contrastaron un modelo de Lattice-Boltzmann con diferentes modelos de frutas. El resultado obtenido puso de manifiesto la viabilidad de los modelos Lattice-Boltzmann para simular flujos de aire y gradientes de concentración de diferentes gases (CO_2 , O_2).

Modelización del producto transportado

Teoría del medio poroso

Los fenómenos de transferencia de calor y masa que se producen en el interior de los palets y cajas que contienen productos hortofrutícolas estibados se

pueden modelizar, considerando el producto como un medio poroso. Tomando como hipótesis de partida, un flujo a baja velocidad, Laguerre y colaboradores (2006) han desarrollado una metodología para predecir la distribución de temperaturas del flujo de aire, así como del producto en función de la posición durante el proceso de refrigeración, concluyendo que el coeficiente de transferencia de calor está muy influenciado por la velocidad del flujo de aire y por la posición del fruto.

Por otro lado, Verboven y colaboradores (2004), considerando un flujo a alta velocidad, han elab-

Exactitud y cuidado en sus envases

maKpacX
GUIRAFA PACKAGING S.L.

- Pesadoras asociativas (malla tarrina)
- Termoselladoras. Seal-Fresh
- Pesadora de tomate en rama (Newtec)
- Envasado con pesadora de tarrina
- Pesadora para plátano con peso exacto



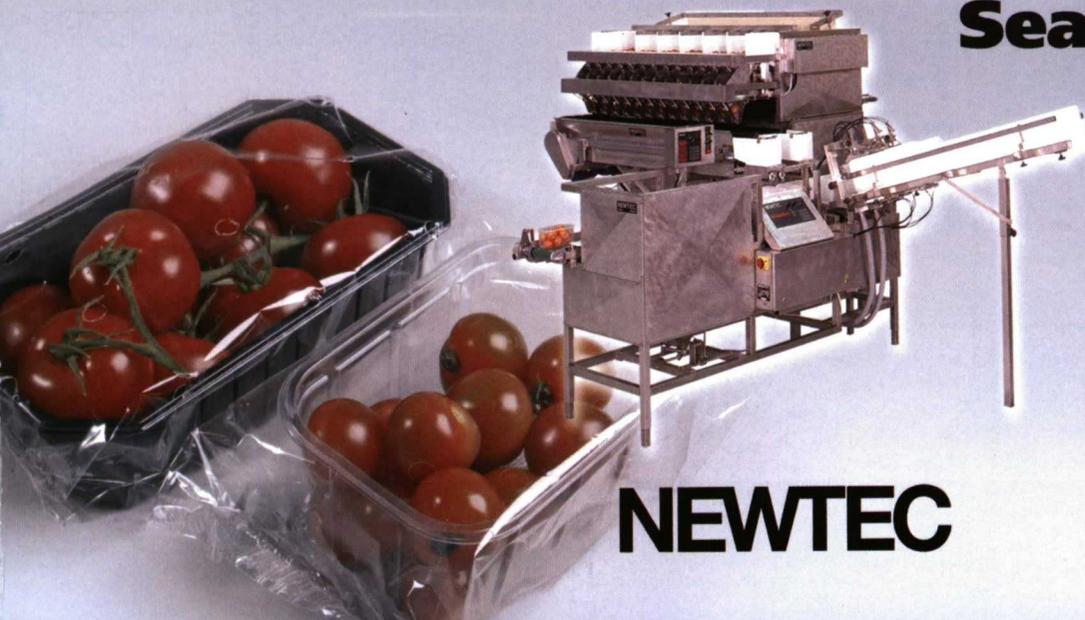
C-PACK
VAS 991



NEWTEC



Seal-Fresh



NEWTEC

MAKPACK
GUIRAFA PACKAGING, S.L.
C/ Oriente, 78-84, piso 3º, oficina 9
08190 SANT CUGAT DEL VALLÈS
Barcelona - Spain
Tel: +34 93 675 54 31
Fax: +34 93 590 05 75
e-mail: sales@guirafa.com
<http://www.guirafa.com>

borado un estudio con dos medios porosos diferentes: uno formado por manzanas y otro formado por achicorias. En él se analiza el efecto que produce sobre la caída de presión, parámetros como, el tamaño y la forma del producto, su alineación con respecto al flujo de aire, la fracción de suelo existente durante la fase de enfriamiento y el confinamiento de las paredes.

Métodos CFD

Además de la aplicación de los modelos CFD a la modelización del flujo de aire en el interior de las cámaras de refrigeración y de los contenedores, las diferentes formas de transportar los productos percederos también son objeto de estudio para determinar la evolución de las temperaturas, mejorar la eficiencia del proceso de refrigeración y así, incrementar la calidad de los mismos. Verboven et al. (2004) emplea un método de elementos discretos para generar distribuciones aleatorias de productos en el interior de cajas sobre las que aplicó el modelo CFD para obtener representaciones tridimensionales de la distribución del flujo de aire, tal como se muestra en la Figura 6.

Tecnologías de supervisión

El control de la calidad de los productos hortofrutícolas, durante la fase de transporte, resulta fundamental para garantizar las propiedades organolépticas a los consumidores. Debido a esto, la monitorización de la carga para observar su evolución, durante la fase de transporte ha adquirido una gran importancia, desde el productor, pasando por los mayoristas, transportistas y minoristas, como reflejan Claridge y colaboradores (2004).

Trazabilidad y monitorización

La trazabilidad permite conocer el camino seguido por un determinado lote de producto desde la recolección hasta el momento de la venta. El seguimiento consiste en conocer, en todo momento, dónde se encuentre el producto. Las nuevas tecnologías de la comunicación proporcionan herramientas útiles para facilitar

Figura 4:

Modelo de circulación del flujo de aire en el interior de una cámara de refrigeración vacía (izda) y cargada (dcha), propuesto por el modelo CFD tridimensional.

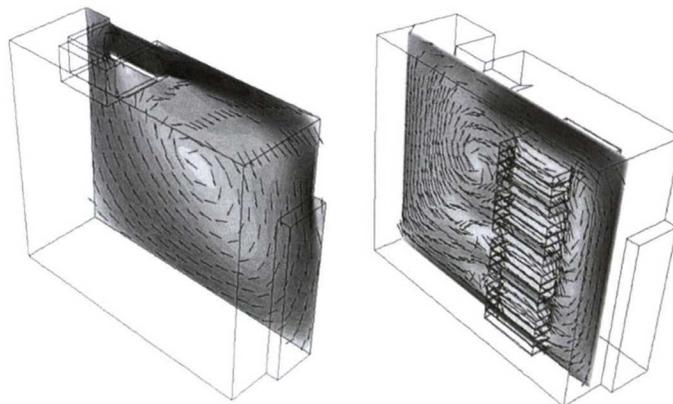
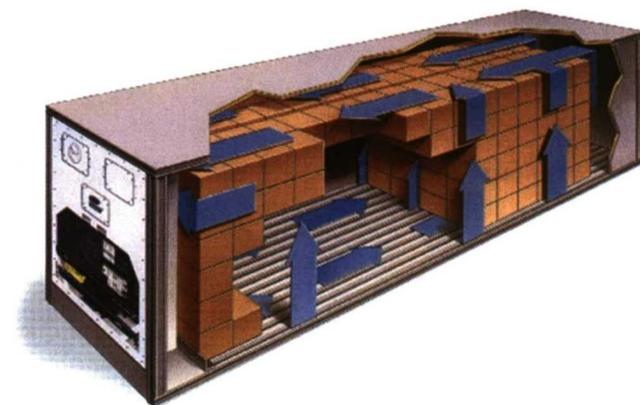


Figura extraída de Nahor et al. (2005)

Figura 5:

Ejemplo de recirculación del flujo de aire en el interior de contenedores



la realización del seguimiento de la mercancía y mejorar su trazabilidad.

Sistemas de localización de unidades de transporte

Para localizar un contenedor de transporte de mercancía se utilizan dos métodos diferentes: la identificación automática de contenedores (vehículos) y el sistema de posicionamiento global (GPS), que es el más utilizado habitualmente. Los dos sistemas de posicionamiento global coexistentes son el norteamericano Navstar-GPS y el ruso Glonass. El sistema europeo

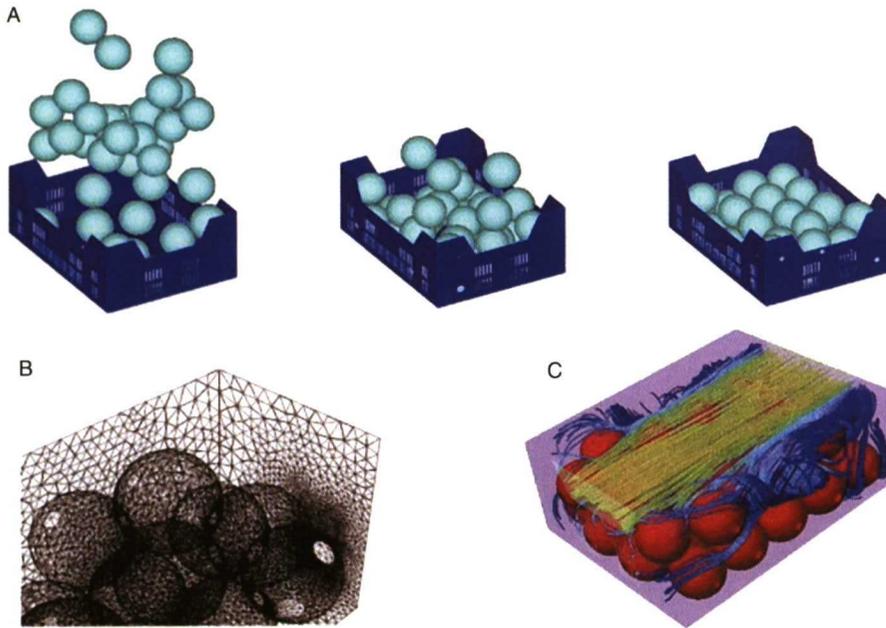
Galileo estará plenamente operativo en 2010 (Ruiz-García, 2006).

Redes de trabajo mediante buses

Un bus de campo es un sistema de comunicación digital diseñado para conectar, de forma coherente, diferentes tipos de sensores, actuadores, transductores, controladores programables y dispositivos de adquisición y procesado de datos. Este tipo de redes permiten diagnosticar, controlar y realizar funciones de mantenimiento, así como proporcionar comunicación bidireccional.

Figura 6:

Simulación mediante modelos CFD del flujo de aire en una caja de transporte de productos hortofrutícolas.



Simulación mediante modelos CFD del flujo de aire en caja de transporte de productos hortofrutícolas. (A) Modelo basado en elementos finitos para obtener posición de frutos en el interior de una caja cuando caen por gravedad. (B) Modelo CFD para determinar huecos existentes entre esferas. (C) Patrón del flujo de aire obtenido en el interior de la caja mediante aplicación de técnicas CFD. P. Verboven (2004).

Las principales ventajas de este sistema de comunicación son su flexibilidad, cableado reducido, facilidad de actualización y expansión, tiempo de respuesta garantizado, gran interoperabilidad y facilidad y rapidez de diseño y montaje. Los más relevantes son AS-I, Ethernet, WorldFIP, Profibus, Interbus, P-Net y CAN-bus. Los sistemas basados en el



acom
agrocomponentes

La Energía ni se crea ni se destruye...
Acom la transforma

acom

Pol. Ind. Los Palomares.
Ctra. Balsicas - Murcia Km. 1 Tel.: + (34) 968 585 776 / Fax: + (34) 968 585 770
30.591 Balsicas - Murcia (ESPAÑA) info@agrocomponentes.es - www.agrocomponentes.es

Figura 7:**Ejemplos de precintos electrónicos basados en RFID**

sistema CAN (Controller Area Network) constituyen la base para la comunicación de los vehículos terrestres, como camiones y autobuses (SAE J1939 e ISO 11992) y marítimos (NMEA 2000).

Comunicación inalámbrica

Las tecnologías de comunicación inalámbrica que pueden emplearse en el ámbito del transporte intermodal son, por ejemplo, WWAN (Wireless Wide Area Network), WLAN (Wireless Local Area Network) y WSN (Wireless Sensor Network). WWAN permite la comunicación a larga distancia en un amplio rango de frecuencias entre el contenedor y el servidor central, mediante sistemas celulares o satélites. El satélite implica un mayor coste pero tiene una cobertura total. WLAN permite la comunicación en un rango de distancias intermedio, entre la que se sitúa la transferencia de datos en puertos, barcos, contenedores y terminales.

A corta distancia, el estándar de mayor importancia es el denominado Wi-Fi (Wireless-Fidelity) que permite establecer comunicación con un sensor inalámbrico instalado en el interior de un contenedor de transporte. Una red inalámbrica de sensores (WSN) es un sistema de comunicación de radiofrecuencia, formado por transceptores, cuyas ventajas son su bajo coste, baja potencia y la posibilidad de establecer nodos con diferentes tipos de sensores.

Otras tecnologías inalámbricas que están en auge son los estándares Bluetooth y Zigbee.

Bluetooth es un protocolo inalámbrico usado para comunicación en rangos pequeños y elevadas tasas de tráfico de datos como, por ejemplo, redes inalámbricas de trabajo personales (WPAN). Sin embargo, no son adecuadas para aplicaciones que requieran consumos eléctricos muy bajos.

Zigbee prima el bajo consumo, permitiendo la conectividad entre dispositivos simples de bajo consumo a distancias pequeñas (150-200 m). Este estándar resulta muy adecuado para la monitorización, control, automatización, sensorica y medios industriales. Además, es de bajo coste y bajo consumo.

La identificación mediante radiofrecuencia (RFID) es una tecnología que, al igual que las anteriores, utiliza comunicación inalámbrica. Esta tecnología permite identificar, categorizar y gestionar flujos de carga e información asociada a la misma, durante la cadena de transporte (ver Figura 7).

Sensórica

Actualmente, existen numerosos tipos de sensores basados en diferentes principios de detección empleados en la determinación de

magnitudes físicas en el interior de contenedores. Los más importantes y ampliamente utilizados son los sensores de temperatura (Pt100 y termopares) y humedad relativa (higrómetros resistivos y capacitivos). Otros sensores muy habituales son los sensores de presión (piezoresistivos), de velocidad de aire (hilo caliente, tubo pitot + sensor piezoresistivo y combinación de termistores) y de punto de condensación (capacitivo). Otro sensores que están siendo introducidos actualmente son los sensores encargados de determinar volátiles como, por ejemplo, los sensores de dióxido de carbono, de etileno y etanol, amoníaco y presencia de volátiles totales.

Conclusión

La consecución de unas condiciones idóneas de transporte está siendo abordada desde muy distintos ángulos por parte de la comunidad científica. Existen resultados con un muy elevado componente práctico que pueden ser directamente transferidos a las empresas fabricantes de contenedores y usuarios de transportes. Animamos a las empresas que estén interesadas en ello, a que se pongan en contacto con los responsables del Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación (LPF-TAG), de la Universidad Politécnica de Madrid (pilar.barreiro@upm.es).

Bibliografía

- Una completa bibliografía de este artículo se encuentra en su versión en Internet, en www.horticom.com?66834.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se ha elaborado dentro del programa de investigación TAGRALIA-CM (S-0505/AGR/000187), financiado por la Comunidad de Madrid, y en el que participan el Laboratorio de Propiedades Físicas y Tecnologías Avanzadas en Agroalimentación (LPF-TAG), de la Universidad Politécnica de Madrid y el Laboratorio de Tecnologías Avanzadas en Sensores (LTAS), situado en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).