

# Desarrollo de sistemas para la supervisión multidistribuida de la carga en transportes frigoríficos intermodales

**P. BARREIRO<sup>(1)</sup>; J.I. ROBLA<sup>(2)</sup>; José RODRÍGUEZ-BERMEJO<sup>(3)</sup>; Luis RUIZ<sup>(4)</sup>; M. RUIZ-ALTISENT<sup>(5)</sup>**

(1) Profesora Titular. (2) Investigador CSIC. (3) Ingeniero Agrónomo. (4) Ingeniero Agrónomo. (5) Catedrática de Universidad Dpto. Ingeniería Rural. ETSI Agrónomos.

## **TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN LA UNIÓN EUROPEA**

El transporte de mercancías intracomunitario se efectúa en la actualidad en un 44% por carretera, en un 41% mediante navegación a corta distancia, un 8% en ferrocarril y un 4% empleando vías navegables. En el intercambio de mercancías entre la UE y el resto del mundo prevalece el transporte marítimo con un 70% del volumen total de dicho intercambio. La Unión Europea en el Libro Blanco del Transporte ha presentado recientemente medi-

das para la revitalización del ferrocarril, el fomento del transporte marítimo y fluvial, la materialización de la intermodalidad y la configuración de una red transeuropea de transportes. De la misma manera, la administración española, en línea con las propuestas del Libro Blanco Europeo del Transporte se propone desviar una parte del transporte por carretera hacia el ferrocarril y el transporte marítimo y fluvial. Así, en el año 2003 se han abierto líneas marítimas de carga perecedera desde los puertos de Cartagena, Cádiz y Almería con destino al puerto de Róterdam, para después distribuir al interior de Alemania por vía fluvial, y en barcos de cabotaje a los países bálticos y Rusia. Está prevista la apertura para 2004 de una línea de ferry diaria desde el Norte de España (Bilbao o Santander) a Dunkerke, otro gran nudo de la distribución. Por tanto la adecuada supervisión del transporte en una concepción intermodal es fundamental.

## TIPOS DE CONTENEDORES EN LOS DISTINTOS MEDIOS DE TRANSPORTE

El transporte de mercancías se realiza sobre producto paletizado existiendo distintos tipos de bases paletizables: Europalet P8 (1000 X 800), palet P10 (1200 X 1000 mm), CHEP (Commonwealth Handling Equipment Pool 1160 X 1160 mm) y el palet australiano o AUF (1100 X 1100 mm); la Tabla 1 resume la capacidad de los distintos contenedores empleados en varios medios de transporte: marítimo (buques porta contenedores), terrestre, ferroviario.

Por otra parte, existen distintos tipos de contenedores de acuerdo con sus características térmicas: isoterms, refrigerantes y frigoríficos. Los primeros están constituidos únicamente por paredes aislantes que limitan el intercambio de calor entre el exterior y el interior a menos de  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . En los contenedores de transporte refrigerante se emplea además una fuente de frío: hielo hídrico con o sin adición de sal, placas eutécticas, hielo carbónico con o sin control de sublimación, o gases licuados como el nitrógeno. Finalmente en los medios de transporte frigoríficos se dispone de un contenedor isoterms provisto de un equipo de producción de frío individual (autónomo o no) o colectivo.

## ASPECTOS A SUPERVISAR EN EL TRANSPORTE DE FRUTAS

Las frutas son un ejemplo característico de los materiales vivos y, por tanto, mantienen su actividad fisiológica a lo largo de la cadena de distribución. Los frutos respiran consumiendo oxígeno del aire y azúcares internos, liberando al ambiente dióxido de carbono, vapor de agua y calor. Simultáneamente transpiran, como consecuencia de la diferencia entre el potencial de agua del fruto y del aire, exudando agua con la consiguiente pérdida de peso (merma). Por otra parte la emisión de gases como el etileno, hormona de maduración de la fruta, influye en la carga circundante (efectos alelopáticos) favoreciendo un incremento de la respiración del conjunto. Un procedimiento disponible para reducir la respiración de los frutos, adicional al control de temperatura, es la modificación de la composición de la atmósfera enriqueciéndola en dióxido de carbono (desde el  $0,03\%$  atmosférico hasta un  $5\%$ ) y empobreciéndola en oxígeno (desde el habitual  $21\%$  hasta un  $1\%$ ). Este tipo de tecnología tan sólo se emplea en transportes de larga duración, fundamentalmente marítimos transoceánicos. Existe una gran cantidad de estudios encaminados a la determinación de las condiciones óptimas de almacenamiento para cada tipo de fruta. El Labora-

torio de Tecnología Poscosecha de la Universidad de California tiene uno de los portales de Internet más completos en este campo, <http://postharvest.ucdavis.edu/>. Por otra parte la asociación alemana de empresas aseguradoras ofrece una exhaustiva información sobre los tipos de contenedores y las condiciones de transporte marítimo de frutas y hortalizas, <http://www.tis-gdv.de/>. Por tanto, para la realización de una correcta supervisión es necesario cuantificar diversas magnitudes, así como evaluar las variaciones de las mismas a lo largo de la carga.

## DESARROLLO DE SENSORES PARA LA SUPERVISIÓN DE LA CARGA

Actualmente, en la supervisión de transportes internacionales estamos habituados al empleo de dispositivos de registro de datos de temperatura y/o humedad relativa, algunos incluso con una sonda para la introducción en el interior de la carga. Bajo esta concepción, el dispositivo es totalmente independiente del contenedor de transporte. Este diseño ha dado muy buenos resultados dado su reducido tamaño y ausencia de cableado pero no es fácilmente ampliable por varios motivos. En primer lugar porque sensores de distinta naturaleza requieren alimentaciones eléctricas diferenciadas y un significativo aumento de la potencia eléctrica consumida. Y en segundo lugar porque se producirá un incremento de las interferencias electromagnéticas entre sensores, así como de las necesidades de memoria para el almacenamiento de datos. Por tanto a la hora de plantear la introducción de nuevos sensores en la supervisión de la carga hay que cambiar de concepción. Será imprescindible determinar los puntos sensibles de medida en la carga. Habrá que establecer el tipo de parámetros críticos en cada punto sensible y el grado de accesibilidad a dichos puntos, la necesidad de comunicación alámbrica o inalámbrica y por último habrá que implantar un sistema centralizado de recepción de datos que permita su comunicación posterior a un sistema de gestión de flotas. Este dispositivo centralizado también deberá ser independiente del medio de transporte, es decir, estará básicamente ligado al contenedor pero deberá poder ser alimentado de forma semicontinua y comunicarse mediante procedimientos normalizados con otros dispositivos electrónicos de control, aspecto que se detallará más adelante. La Tabla 2 recoge una selección de los parámetros que es posible determinar y una orientación sobre la localización de los puntos sensibles de medida.

Para la determinación de todos estos parámetros empleamos transductores, es decir, dispositivos que transforman una magnitud física en una magnitud

eléctrica. En muchas ocasiones, el transductor se combina con un sensor primario, siendo este último un elemento que permite transformar una magnitud física en otra más fácilmente mensurable, por ejemplo una presión de líquido en una altura de columna de agua. A nivel comercial se denomina genéricamente sensor a la combinación del sensor primario, el transductor y el acondicionador de la señal. En algunas ocasiones el dispositivo de medida incorpora tal cantidad de elementos que pasa a denominarse instrumento, tal es el caso de los sensores de gases espectrofotométricos. Existen diferencias significativas en las características funcionales de los transductores que se pueden emplear para determinar una misma magnitud. La *Tabla 1* recoge alternativas viables para la determinación magnitudes de interés en la supervisión del transporte de frutas. La miniaturización de sensores así como su comunicación inalámbrica es un área en continua expansión que tiene su origen en la tecnología aeroespacial, dada la necesidad de disponer de una supervisión exhaustiva de las expediciones interplanetarias no tripuladas. Así como de garantizar la idoneidad de las condiciones de estancia de los astronautas en las

estaciones espaciales. Tecnologías absolutamente inviables económicamente hace una década son ahora de difusión global, siendo cada vez más corto el período de transferencia de nuevas tecnologías a la industria.

### PARÁMETROS DE CONTROL EN EL TRANSPORTE FRIGORÍFICO

El objetivo de la tecnología del transporte frigorífico es alcanzar y mantener los valores de consigna relativos a las magnitudes mencionadas en el apartado anterior, maximizando la capacidad de carga de los contenedores y vehículos. Son aspectos a controlar: la ventilación y renovación del aire, la generación de frío, el desescarchado, la modificación de la atmósfera y el consumo de potencia. La ventilación del contenedor o vehículo tiene como finalidad homogeneizar las condiciones ambientales. La ventilación se expresa en volúmenes a la hora, considerándose adecuada una ventilación de 60 a 120 volúmenes por h al inicio de la carga y de 30 a 60 volúmenes por h tras la estabilización. La renovación del aire tiene como objetivo eliminar los gases derivados de la respiración de la fruta y el etileno. Cuanto más

efectivo es el control de la actividad fisiológica menos necesaria resulta, y más económico el transporte en términos de consumo energético dado que el aire renovado ha de ser enfriado al nivel de temperatura de consigna. En general, la renovación se realiza en atmósferas normales cuando se alcanza un nivel de CO<sub>2</sub> cercano al 1%. Interesa en el transporte limitar la velocidad del aire sin perjuicio del número de ventilaciones a la hora con el fin de disminuir las pérdidas de presión que son proporcionales al cuadrado de la velocidad del aire, y que redundan en un incremento de temperatura. Con este objetivo resulta interesante en los contenedores de gran longitud utilizar conductos que distribuyan longitudinalmente el aire sin necesidad de incrementar su velocidad a la salida del ventilador. Es muy importante seleccionar y llevar a efecto una correcta distribución de la carga, con el fin de conseguir pérdidas de presión homogéneas y una circulación de aire que se adapte a las características del producto y duración del transporte. Los equipos de frío empleados en los contenedores frigoríficos están constituidos por un compresor (accionado por un motor eléctrico o diesel), un evaporador, un válvula de expansión y un condensador. El fluido refrigerante empleado es normalmente amoníaco para los transportes marítimos y CFC12 y R502 para el transporte terrestre. En los equipos terrestres más modernos se está incluyendo el refrigerante HFC134a respetuoso con la capa del ozono. Uno de los problemas típicos de los equipos de frío es el escarchado del evaporador debido a la condensación y posterior congelación del agua en la superficie del mismo. Este efecto indeseable se ve potenciado por las necesidades de renovación de aire. La formación de escarcha en el evaporador limita la efectividad del

**Tabla 1**  
Capacidad de algunos contenedores frigoríficos de mercancías (equipo frío individual) empleados en varios medios de transporte. Las abreviaturas P8 y P10 refieren al tipo de palet: 1000 x 800mm ó 1200 x 1000 mm respectivamente

Uso	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Capacidad (nº palets)
<b>Terrestre</b>				
semirremolque	13,6	2,4	2,35	26P10 ó 32P8
<b>Marítimo</b>				
reefer 20	5,11	2,235	2,217	10P8 ó 9P10
reefer 40	11,237	2,239	2,173	23P8 ó 20P10
<b>Ferrovial</b>				
TGC	9,98	2,53	2,00	24P8 ó 18P10
	11,45	2,55	2,00	28P8 ó 22P10
SC	16,65	2,58	2,00	39P8 ó 30P10
	17,45	2,51	2,00	42P8 ó 34 P10
	17,75	2,46	2,00	44P8 ó 34 P10

Fuente: Instituto Internacional del Frío.

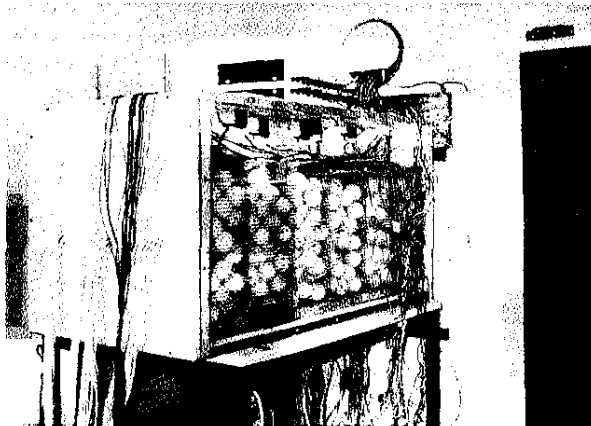


Figura 1.— Maqueta escala 1:10 de un contenedor de transporte. Se emplea para hacer estudios de transferencia de calor y masa en distintas condiciones de ventilación forzada.

equipo de frío y ha de ser solventada con procedimientos de des-escarchado: ventilación sin producción de frío, empleo de salmueras templadas, paso de fluido refrigerante caliente, o inversión del ciclo con gases calientes. La Figura 1 muestra el efecto del período de “des-escarchado” sobre la temperatura de transporte. Un aspecto de gran relevancia en el transporte es el control del consumo de potencia por parte del equipo frigorífico. Con este objetivo se suele disponer de un control discontinuo de la temperatura aunque este hecho redunde en una reducción significativa de la uniformidad en la temperatura de transporte. La modificación de la atmósfera de los contenedores se emplea únicamente en transportes de larga distancia, típicamente marítimos intercontinentales. Existen procedimientos de modificación de la atmósfera pasivos y activos.

Cuando se emplea un procedimiento pasivo, el aire previamente modificado en su composición es inyectado en el contenedor una vez cargado y sellado, sin ser

posteriormente corregida frente a eventuales cambios en su composición debido a la actividad fisiológica de la fruta, que se espera muy reducida. Los procedimientos activos por el contrario verifican de forma continua la composición del aire, corrigiéndola en

su caso. Los procedimientos activos precisan un generador de nitrógeno, un controlador de oxígeno, absorbedores de dióxido de carbono y eventualmente etileno, así como un humidificador. En el transporte marítimo es frecuente emplear una sola unidad que controla simultáneamente la atmósfera de varios contenedores. El Instituto Internacional del Transporte ha comparado la capacidad frigorífica absorbida en el empleo de atmósfera normal con admisión permanente de aire nuevo (A) o admisión regulada de aire nuevo (B), atmósfera normal con admisión de aire preenfriado (C), y atmósferas controladas con ventilaciones de 90 y 60 volúmenes a la hora (D y E respectivamente). En este estudio se observa que existe una proporción de 5 veces a uno en las necesidades de capacidad frigorífica para un transporte con atmósfera normal con admisión permanente de aire nuevo, respecto al caso de atmósfera controlada con ventilación de 60 volúmenes a la hora.

#### Magnitudes a determinar, y orientación sobre la localización de los punto sensibles de medida

Magnitud	Localización	Tipos de sensores
Temperatura	en la carga y los canales de aire	- Termopar K,T - Termistor - PT-100
Humedad relativa	en la carga y los canales de aire	- Higrómetro resistivo - Higrómetro capacitivo
Presión	en la carga y los canales de aire	- Piezoresistivo
Velocidad del aire	en los canales de aire	- Hilo caliente - Tubo pitot + sensor piezoresistivo - Combinación de termistores
Punto de condensación	en la carga	- Capacitivo
Contenido de dióxido carbono	en la carga	- Infrarrojos
Contenido de etileno	en la carga	- Electroquímico - Infrarrojos
Contenido de etanol	en la carga	- Electroquímico - Infrarrojos
Presencia amoníaco	en el equipo de frío	- Electroquímico - Infrarrojos
Contenido en volátiles totales	en la carga	- Óxidos metálicos - Microbalanzas cuarzo - Polímeros conductores

## EXPERIENCIAS DE SUPERVISIÓN DE CARGA

No es fácil encontrar estudios fiables que aborden la aparición de variaciones espaciales (gradientes) de temperatura durante el transporte. Es más, las empresas nos vienen solicitando a los equipos de investigación una orientación clara acerca del número mínimo de sondas necesarias y de los puntos críticos de control de este parámetro en el interior de los contenedores. Uno de los estudios más exhaustivos que se han llevado a cabo procede de Australia (TANNER y AMOS, 2001) y analiza, mediante 664 termopares tipo K, el transporte en 27 días entre Australia y Europa de 20 palets tipo P10 de kiwi en un contenedor tipo *refeer* 40 (equipo de frío individual y 40 pies de largo). La temperatura de consigna del contenedor durante el transporte fue de  $0^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  similar a la mencionada para ciruelas, cerezas y albaricoques. Los resultados de este estudio indican que pueden producirse gradientes de  $7$  a  $9^{\circ}\text{C}$  de temperatura en el aire del contenedor, y de  $4$  a  $6^{\circ}\text{C}$  dentro de los



Figura 2. Contenedor de transporte tipo *refeer* 40 empleado por LHM para la realización de simulaciones de transporte.

palets existiendo zonas fuera de especificación durante más del 70% del la duración del trayecto. Los aumentos de temperatura del aire están asociados con los periodos de "des-escarchado" del evaporador y con el paso del Ecuador. Un resultado importante es que pequeñas inhomogeneidades en la eliminación de la escarcha favore-

cen la aparición de variaciones en la distribución de velocidades y de temperatura del aire a la salida del evaporador. A su vez, pequeñas variaciones en la estiba determinan flujos de aire inhomogéneos entre la carga. Los daños por congelación aparecen siempre en las zonas más bajas de los palets (mayor densidad del aire frío), y

Figura 3

Ejemplo de datos experimentales que corresponden a la variación de temperatura debida a los ciclos diarios y de desescarchado del equipo de frío en condiciones invernales (favorables al correcto enfriado)

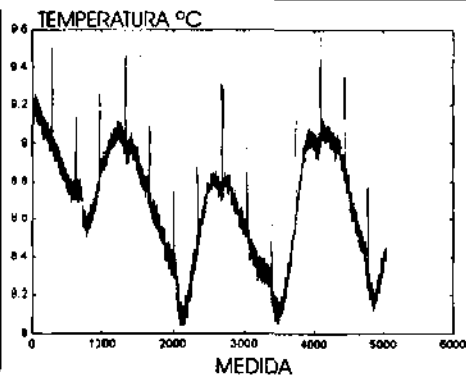
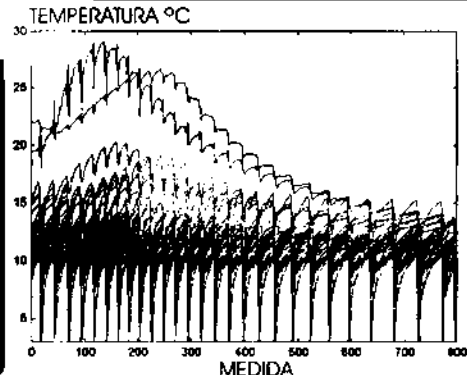


Figura 4

Ejemplo de variación de temperatura dentro del contenedor (54 sondas) para un funcionamiento del contenedor en modo discontinuo y en condiciones estivales (temperatura exterior máxima  $44^{\circ}\text{C}$ )



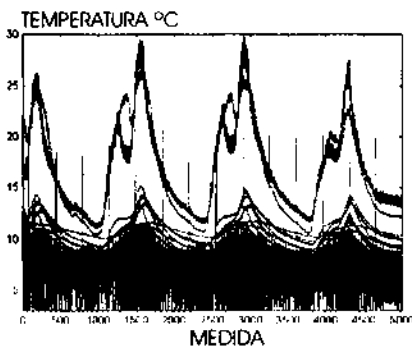
las zonas de máxima temperatura en las áreas longitudinalmente opuestas a la colocación del equipo de frío (máxima pérdida de presión en los codos).

El grupo LPF-CENIM, en el marco de un proyecto de investigación nacional denominado SENSOFRIGO, ha fabricado una maqueta a escala 1:10 de un contenedor de transporte internacional donde se realizan numerosos ensayos de refrigeración (ver Figura 1). Dispone además de un contenedor de transporte donde se está instalando toda la variedad de sensores mencionados para determinar el potencial de cada uno de ellos en la supervisión multidistribuida de la carga (Figura 2). En las Figuras 3 a 5 se ofrecen ejemplos de datos experimentales que corresponden a la variación de temperatura debida a los ciclos diarios y de descargado del equipo de frío (Figura 3), a la variación de temperatura para un funcionamiento del contenedor en modo discontinuo (Figura 4) y continuo (Figura 5).

#### COMUNICACIÓN CON OTROS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE CONTROL

Hasta este momento hemos presentado los distintos sensores comerciales y en desarrollo, así como la necesidad de disponer de una unidad de registro de datos conectada con los anteriores por vía alámbrica o inalámbrica. Existen, sin embargo, otros dispositivos electrónicos de control susceptibles de ser interconectados con el sistema de supervisión. Entre ellos destaca la unidad de

**Figura 5**  
**Ejemplo de variación de temperatura dentro del contenedor (54 sondas) para un funcionamiento del contenedor en continuo y en condiciones estivales (temperatura exterior máxima 44°C). Sólo las sondas adheridas a la techo experimentan fluctuaciones anormales coincidentes con los ciclos diarios**



control del equipo de frío e incluso la red de comunicaciones CAN del vehículo. El sistema CAN bus permite la comunicación digital entre controladores electrónicos minimizando las necesidades de cableado. El hecho de que exista una norma internacional para su uso en vehículos pesados favorece enormemente el desarrollo de equipos electrónicos compatibles entre sí. De esta manera el sistema de supervisión del contenedor puede acceder a información registrada por los sensores de otros equipos de control optimizando la configuración de los equipos electrónicos.

#### SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES

Actualmente encontramos en el mercado sistemas comerciales de gestión de flotas marítimas y terrestres que se basan en el empleo de la radionavegación por GPS. La radionavegación por satélite es una tecnología que permite al usuario de un receptor recoger señales emitidas por varios saté-

tes en constelación para determinar con elevada precisión y en todo momento, además de su hora exacta, su posición en términos de longitud, latitud y altitud. La Unión Europea ha presentado un programa autónomo de radionavegación por satélite denominado Galileo que lanzará una constelación de 30 satélites para cubrir la totalidad del globo, junto con emisoras terrestres locales que permitirán prestar servicios universales incluso en lugares cubiertos (túneles o aparcamientos subterráneos). Este sistema estará operativo en 2008. En los sistemas de gestión de flota comerciales

se emplea generalmente un servidor de comunicaciones y otro de base de datos. El servidor de comunicaciones actúa como gestor de las redes de telefonía empleadas (normalmente GSM-GPRS), del equipo frigorífico, del sistema de registro y del GPS. El servidor de base de datos debe registrar los datos de forma codificada para evitar la manipulación indebida de los registros. Estos registros pueden ser de interés en relación con modelos matemáticos capaces de evaluar y predecir el estado de la carga a corto plazo y medio plazo.

#### MODELIZACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA CARGA EN TRANSPORTES INTERNACIONALES

La modelización de los procesos de transferencia de calor y masa que tienen lugar durante el transporte pueden abordarse desde un punto de vista analítico. Este hecho favorece el conocimiento del problema sin necesidad de recurrir a la experimentación sistemá-

tica, muy costosa y laboriosa, aunque inevitable puntualmente para validar los resultados de la simulación. Entendemos por modelización analítica la descomposición de un problema en un conjunto de fenómenos conocidos que son susceptibles de ser modelizados por separado dado que se conocen las leyes físicas que los describen. La *Tabla 3* resume las leyes físicas empleadas en la modelización de diversos procesos como la transferencia de calor y de masa en sólidos, de masa, momento y calor en fluidos, y de masa y calor en medios capilares porosos. En todos los casos (salvo el modelo de Boltzmann) se trata de formular un problema en términos de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, dado que la propiedad en estudio varía cuantitativamente en el espacio y en el tiempo. El modelo de Boltzmann difiere conceptualmente de los anteriores en que no trata la modelización de propiedades macroscópicas, sino de distribuciones de partículas. En este último caso, el movimiento de gases a nivel macroscópico es la consecuencia del choque de las partículas de gases que pueden tener una dirección predominante (corriente de aire forzada o no).

Los sistemas de ecuaciones en derivadas parciales que se obtienen normalmente de la aplicación de la ley correspondiente: Fourier, Fick, Luikov, Navier-Stokes, no tienen solución analítica, es decir, exacta, sino que precisan del empleo de métodos numéricos en su resolución. Existen tres procedimientos fundamentales que se pueden emplear: diferencias finitas, elementos finitos o volúmenes finitos. El primero resulta ser el más sencillo desde el punto de vista de cálculo, y es especialmente útil para predecir la temperatura

**Tabla 3**  
Modelos analíticos empleados en la modelización analítica de los procesos de transferencia de masa y calor.

Modelo	Producto	Proceso	Ley física asociada
Difusión de calor	sólidos	Transferencia de calor	Ley de Fourier
Difusión de gases	sólidos	Transferencia de masa	Ley de Fick
Difusión de agua y calor	sólidos porosos con capilaridad	Transferencia de masa y calor	Ecuaciones de Luikov
Dinámica de fluidos	líquidos y gases	Transferencia de masa, momento y calor	Ecuaciones Navier-Stokes
Mecánica estadística de fluidos	líquidos y gases	Transferencia de masa y momento	Modelo de Boltzmann

de cuerpos de geometrías sencillas como esferas y cilindros, pero ofrece predicciones de escaso valor en productos de geometría irregular, materiales heterogéneos y contornos complejos. En estos casos resulta más recomendable el empleo del método de elementos finitos que básicamente consiste en: 1) parcelar el espacio dividiéndolo en un elevado número de elementos, 2) desarrollar las ecuaciones para cada uno de dichos elementos, y 3) emplear la interpolación polinomial para describir la variación de una variable de campo dentro de cada elemento. El método de volúmenes finitos se emplea expresamente para casos de fluidos en movimiento y emplea para ello las ecuaciones de Navier-Stokes (ecuación de la continuidad, conservación de momento y energía). Aunque la ecuación de Navier-Stokes son válidas tanto para regímenes laminares como turbulentos, con el fin hacer viable el cómputo numérico de los problemas se suelen realizar simplificaciones que pueden sesgar en gran medida los resultados de la simulación. Siendo el análisis de sensibilidad de las hipótesis de partida uno de los aspectos más cruciales actualmente en estudio. Un aspecto muy relevante en la modelización del transporte frigorífico es el hecho de que en zonas donde la velocidad del aire se reduce drásticamente, la convección forzada de aire no es la responsable mayoritaria del trans-

porte de calor. En estos casos la convección natural es el proceso predominante y la estratificación del aire por densidad derivada de su temperatura resulta en efectos significativos sobre la carga, tal y como se ha visto en el ensayo de TANNER y AMOS en 2003. Otra línea de trabajo actual es la incorporación a los modelos analíticos de ecuaciones que describan la regulación enzimática de procesos tales como la respiración aeróbica o anaeróbica, la producción de etileno y otros volátiles, o incluso modelos de activación e inactivación microbiana capaces de predecir los puntos e instantes críticos de desarrollo de patógenos y enfermedades.

## CONCLUSIONES

A modo de conclusión, en este artículo de revisión del estado actual de la investigación en el transporte frigorífico intermodal se quiere destacar:

- Se prevé un incremento en el empleo de la combinación de varios medios de transporte en la distribución de productos perecederos.
- Se precisan contenedores adaptados a la transferencia directa entre los distintos modos de transporte.
- La supervisión de la carga precisa una combinación de sensores multidistribuidos de bajo coste dado que se producen variaciones

significativas de las condiciones ambientales y de la carga durante el transporte.

- La información aportada por los sensores puede ser empleada por otros dispositivos de control electrónico como el que gestiona el equipo de frío si se emplean procedimientos normalizados de comunicación digital como el CAN-bus.

- Los sistemas de gestión de flotas permitirán disponer de información en tiempo real acerca de la localización y condiciones de la carga.

- El empleo de modelos de evolución de la carga pueden favorecer la predicción de incidencias y la optimización del diseño de nuevos contenedores de transporte.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ RAMOS, J. 2003. El futuro del Transporte Intermodal en la exportación hortofrutícola española. Distribución y consumo. Julio-Agosto 45-49

BARREIRO P.; ROBLA J.I. 2004. Transporte frigorífico internacional de fruta. Intermodalidad y sistemas de transporte inteligente. FRUTICULTURA PROFESIONAL, nº 144:53-58.

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 Boltzman for spatio-temporal simulations of gases in fruit storage chambers. Acta Hort. (ISHS) 599:413-419

Comisión de las Comunidades Europeas. 2001. Libro Blanco: La política europea de transportes de cara al 2010: la hora de la verdad.

[http://europa.eu.int/comm/inf/white/index\\_es.htm](http://europa.eu.int/comm/inf/white/index_es.htm)

Instituto Internacional del Frío. 2002. Guía de Transporte frigorífico. Editorial Mundo-Prensa. ISBN 84 7114 898 6

TANNER, D.J. AND AMOS, N.D. 2003. Temperature variability during shipment of fresh produce. Acta Hort. (ISHS) 599:193-203

TIJSEKENS L.M.M.; HERTOEG M.L.A.T.M.; NICOLAÏ B.M. 2000. Food process modelling. Ed. Woodhead Publishing Limited CRC Press Cambridge ISBN 0-8493-1224-8

WANG L.; SUN S.W. 2003. Recent developments in numerical modelling of heating and cooling process in the food industry. A review. Trends in food science and technology 14:408-423.